Berlin 1973.

Ausgrabungen in Berlin

3/72

Sonderdruck

B. Herrmann

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547615_0009

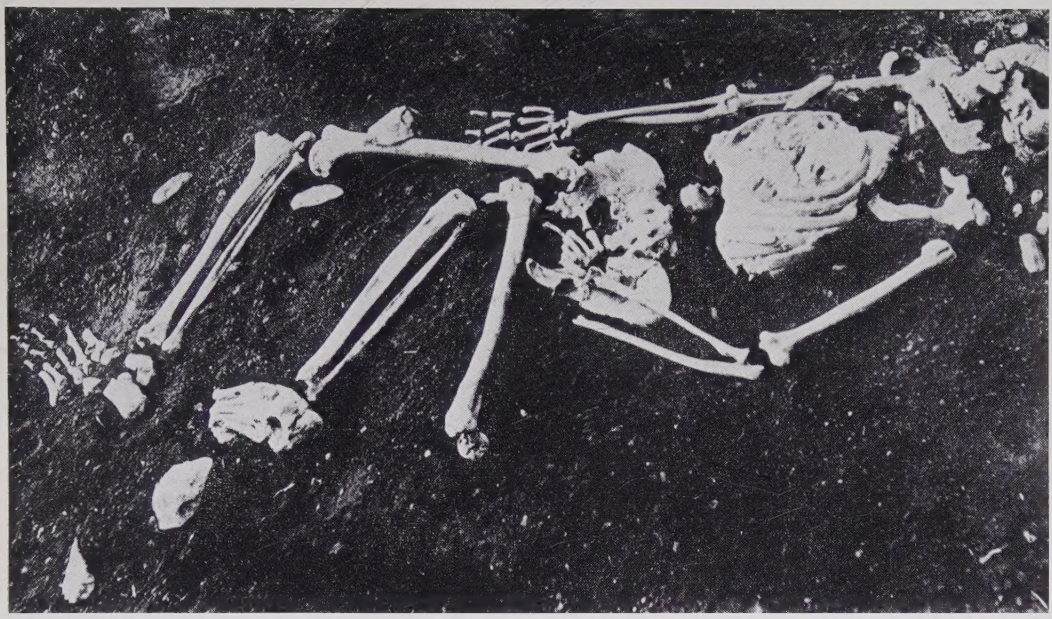


Abb. 1 Das Skelet von Combe Capelle. Lage der Skeletelemente bei ihrer Auffindung, von Klaatsch und Hauser nachgestellt (Postkarte O. Hausers vom 16. 7. 1910 an die Redaktion der Prähistorischen Zeitschrift aus Acta 2; ca. 1 : 1.)

Bernd Herrmann

Das Combe Capelle-Skelet

Eine Untersuchung der Brandreste unter Berücksichtigung thermoinduzierter Veränderungen am Knochen*

1. Einleitung
2. Die Identifikation der Skeletreste von Combe Capelle
2.1. Identifikation nach morphologischen Kriterien
2.2. Identifikation mit der Neutronen-Aktivierungs-Analsye
2.3. Liegezeitbestimmung
2.4. Verzeichnis der erhaltenen Skeletelemente
3. Allgemeines zur Problematik der Leichenbranduntersuchung
4. Wärmeinduzierte Veränderungen des Knochens
4.1. Thermische Umwandlungsreaktionen des Knochenminerals
4.2. Thermische Veränderungen der Materialeigenschaften und der Knochenstruktur
4.2.1. Härte- und Strukturveränderungen
4.2.2. Hitzerisse
4.3. Die Schrumpfung
4.3.1. Ursachen der Schrumpfung
4.3.2. Ausmaß der Schrumpfung
4.3.3. Die Bedeutung der stofflichen Zusammensetzung und die Abhängigkeit des Schrumpfungsbetrages von der Wandstärke
4.3.4. Welchen Schrumpfungsbetrag weisen die Skeletelemente von Combe Capelle auf?
5. Die Untersuchung der Skeletreste von Combe Capelle
5.1. Geschlechts- und Altersdiagnose
5.1.1. Geschlechtsdiagnose
5.1.2. Altersdiagnose
5.2. Berechnung der Körperhöhe
5.3. Pathologische Veränderungen
5.4. Verletzungen durch Fremdeinwirkungen
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis

* D 188

Die Knochen sind, man möchte sagen, unsterblich.
Sokrates in Platon, Phaidon

1. Einleitung

Das von Klaatsch und Hauser 1909 aus den palaeolithischen Schichten der Station Combe Capelle bei Montferrand (Perigord, Frankreich) geborgene Skelet des *„Homo Aurignaciensis Hauseri"* Klaatsch und Hauser, 1910, gehört zu den bedeutenden Zeugnissen des fossilen *Homo sapiens sapiens,* obwohl es meist im Schatten des berühmter gewordenen Fundes von Cro Magnon stand und immer mehr zu einem Objekt unter vielen wurde.

Hauser bot das Skelet von Combe Capelle zusammen mit dem Neandertaler von Le Moustier den Königlich-Preußischen Museen zu Berlin zum Kauf an. Eine nationale Spendenaktion erbrachte die Kaufsumme von 160 000.— Goldmark, und so gingen beide Skelete 1910 in das Eigentum der Prähistorischen Abteilung des Völkerkundemuseums über (Acta 1 bis 3; Schuchhardt, 1912; „Führer . . .", 1913).

Als im fortgeschrittenen Stadium des Zweiten Weltkrieges die Auslagerung beider Funde zweckmäßig erschien, verlagerte man mit Rücksicht auf den fragilen Zustand der postcranialen Skelete nur die Schädel. Diese gelangten nach Kriegsende in die UdSSR. Unter den später von der UdSSR zurückgegebenen Beständen fand man 1965 den Schädel von Le Moustier (W. Müller, 1965/66; Hesse und Ullrich, 1966). Über den Verbleib des Schädels von Combe Capelle ist mir nichts bekannt geworden.

Beim Luftangriff vom 3. Februar 1945 brannte das Museumsgebäude, Prinz-Albrecht-Str. 7, weitgehend aus, und mit ihm fielen beide Skelete den Flammen zum Opfer. Heberer, der 1955 zusammen mit Kurth die verbliebenen Knochenreste aus dem Ruinenschutt barg, kam in seinem Bericht zu dem Schluß: „Es ist leider eine Tatsache: die Skelette von Combe Capelle und Le Moustier sind für die Wissenschaft verloren." und „Insgesamt würden die geborgenen Reste immer noch ein erfreuliches Resultat darstellen — wenn ihr Zustand nicht der von Leichenbrand wäre." (Heberer, 1957)

In den letzten Jahren hat die Untersuchung prähistorischer Leichenbrände beachtliche Fortschritte erzielt. Es erschien mir deshalb als reizvolle Aufgabe, die Bearbeitung des verbrannten postcranialen Skeletes von Combe Capelle unter Berücksichtigung der neueren Erkenntnisse vorzunehmen. Mit dieser Arbeit soll die gegenwärtige Leistungsfähigkeit der Leichenbrandanalyse an der Frage gemessen werden, ob und inwiefern die Individualdiagnose von Klaatsch und Hauser (1910) durch die Untersuchung des verbrannten Skeletes von Combe Capelle nachvollzogen werden kann. Wegen der geringen Zahl erhaltener Stücke und ihrer noch unsicheren Identifikation ist das Skelet von Le Moustier hier ausgeklammert.

Unberücksichtigt bleibt die Frage der systematischen Stellung von Combe Capelle, um die es neuerlich zu Diskussionen gekommen ist (Jelinek, 1959; Asmus, 1964; Narr, 1968) und die prinzipielle Fragen der systematischen Bewertung fossiler Hominiden berührt (Klaatsch und Hauser, 1910; Campbell, 1963; Mayr, 1963; Vogel, 1970). Die Erörterung typologischer Fragen ist bei Leichenbränden sicher schwierig. Krumbein (1934) war überzeugt, „rassische Profile" aus Leichenbrandserien ermitteln zu können. Breitinger (1939) schränkte diesen Optimismus ein, indem er diese Möglichkeit nur für große Serien und bei Erhaltung großer Bruchstücke gelten ließ, wie sie in von Haury (1945) und Schaefer (1960) untersuchten Serien vorlagen. Schließlich hat Vlcek (1963) in seiner Kritik an der spekulativen Arbeit Chochols (1961) die auch heute noch bestehenden Grenzen einer typologischen Zuordnung von Leichenbrandserien überzeugend formuliert. Verbesserte Diagnosemöglichkeiten werden in Zukunft wahrscheinlich über den Einsatz mathematischer Trennverfahren (van Vark, 1970) und durch Berücksichtigung diskontinuierlich variierender Merkmale gegeben sein (Merbs, 1967; McWilliams, 1969, im Druck).

Es ist mir Bedürfnis und gern erfüllte Pflicht, all denen zu danken, die durch Rat und Hilfe diese Arbeit gefördert haben. Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. E. C. Büchi, Direktor des Institutes für Anthropologie der Freien Universität Berlin, für die Betreuung und großzügige Förderung der Arbeit, die wesentlich zu ihrem Gelingen beigetragen

haben. Herrn Prof. Dr. Adriaan von Müller, Direktor des Museums für Vor- und Frühgeschichte der Staatlichen Museen Berlin, Stiftung Preußischer Kulturbesitz, danke ich für die Überlassung des Untersuchungsmaterials. Im Laufe der Arbeit traten Probleme auf, die ich mit Hilfe von Methoden verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen zu lösen hoffte. Glücklicherweise fand ich überall bereitwillige Unterstützung. Mein Dank gilt: Herrn Dr. P. Brätter, Frau H. Geßner, Herrn Dipl.-Chem. J. Lausch und Herrn Dr. U. Rösick, Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin, für die Durchführung und Auswertung der Neutronen-Aktivierungs-Analyse (Kap. 2.2); Herrn Prof. Dr. A. S. Posner, The Hospital for Special Surgery, Cornell University Medical College, New York, für Röntgenstrukturanalysen von Knochenproben (Kap. 4.1.); Herrn Oberarzt Dr. R.-D. Meyer, Universitätsfrauenklinik der FU Berlin, für die Herstellung der Röntgenaufnahmen (Kap. 2. und 3.); Herrn Prof. Dr. R. Herbst, Leiter des Elektronenmikroskopischen Labors des Pathologischen Institutes im Klinikum Westend der FU Berlin, sowie Frau A.-M. Multier-Lajous und Frau G. Kaßner für die Herstellung der Raster-Elmi-Aufnahmen sowie Frau I. Scheer-Pontenagel und Frl. G. Sieber für die Herstellung der Durchstrahlungs-Elmi-Aufnahmen (Kap. 4.2. und 5.3.); Herrn Prof. Dr. F. Heuck, Ärztl. Direktor des Zentralröntgeninstituts des Katharinenhospitals der Stadt Stuttgart, für die Herstellung und Auswertung der Mikroradiogramme von Combe Capelle (Kap. 5.1.2.); Herrn W. Dietz, Institut für Gerichtliche Medizin der FU Berlin, für die Fotografien der Verletzungen von Combe Capelle (Kap. 5.4.).

Ferner danke ich für ihre Hilfe und klärende Hinweise: Herrn Prof. Dr. K. Dämmrich. Institut für Veterinärpathologie der FU Berlin; Herrn Prof. Dr. H. Oeser, Herrn Dr. D. Banzer, Herrn Dr. W. Leonhardt und Herrn Dipl.-Phys. U. Schneider, Strahleninstitut und -klinik im Klinikum Steglitz der FU Berlin; Herrn Prof. Dr. H. Newesely, WE 5 der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der FU Berlin; Herrn Prof. Dr. K. P. Oakley, British Museum (Natural History), London; Herrn Ass. Prof. Dr. V. Schneider, Institut für Gerichtliche Medizin der FU Berlin. Besonderen Dank schulde ich, Herrn Dr. A. Kernd'l, Herausgeber dieser Zeitschrift, für sein vielfältiges verständnisvolles Entgegenkommen.

2. Die Identifikation der Skeletreste von Combe Capelle

2.1. Identifikation nach morphologischen Kriterien

Bevor mit der Erörterung der eigentlichen Fragestellung begonnen werden konnte, war es notwendig, aus dem erhaltenen Material die zu Combe Capelle gehörigen Stücke zu identifizieren.

Nach der Auslagerung der Schädel brachte man die Vitrine mit den postcranialen Skeleten von Compe Capelle und Le Moustier zur Sicherheit in einen Raum im Parterre des Museums und stellte sie in dessen Mitte auf. In den Regalen an den Wänden waren Funde verschiedener Kulturperioden und geographischer Herkunft untergebracht (Troja, Ägypten, Havelland u. a.). Beim Luftangriff hielt zwar die Decke des Raumes, „aber innerhalb stürzte alles brennend übereinander. Zuletzt bildete sich eine 30 bis 50 cm hohe Trümmerschicht auf dem Boden, die dann ausglühte." (Heberer, 1957)

Aus dieser Trümmerschicht bargen Heberer und Kurth die erhaltengebliebenen Knochenreste. Für Combe Capelle ist das Ergebnis in Abb. 2 a wiedergegeben.

Für die vorliegende Untersuchung stand das gesamte aus dem Schutt geborgene Material zur Verfügung. Die Knochenfragmente mußten aus einem Konglomerat von Brandschutt, Vitrinenglas und Feuersteinabschlägen herausgesucht und zusammengesetzt werden. Neben den Skeletresten von Combe Capelle und denen, die vermutlich zu Le Moustier gehören, waren die Reste von mindestens fünf weiteren Individuen nachweisbar. Die Identifikation der zu Combe Capelle gehörigen Stücke war dadurch erschwert, daß Klaatsch und Hauser (1910) kein Verzeichnis sämtlicher geborgenen Skeletreste aufgestellt haben. Dieser Mangel wirkte sich besonders auf die Identifikation der Scapula, des Beckens und der Hand- und Fußknochen aus, deren Beschreibung für einen späteren Zeitpunkt angekündigt wurde. Die von Klaatsch zwischen 1910 und seinem Tode publizierten Arbeiten (Publikationsliste in Anat. Anz. 48 [1916] : 619—623) geben je-

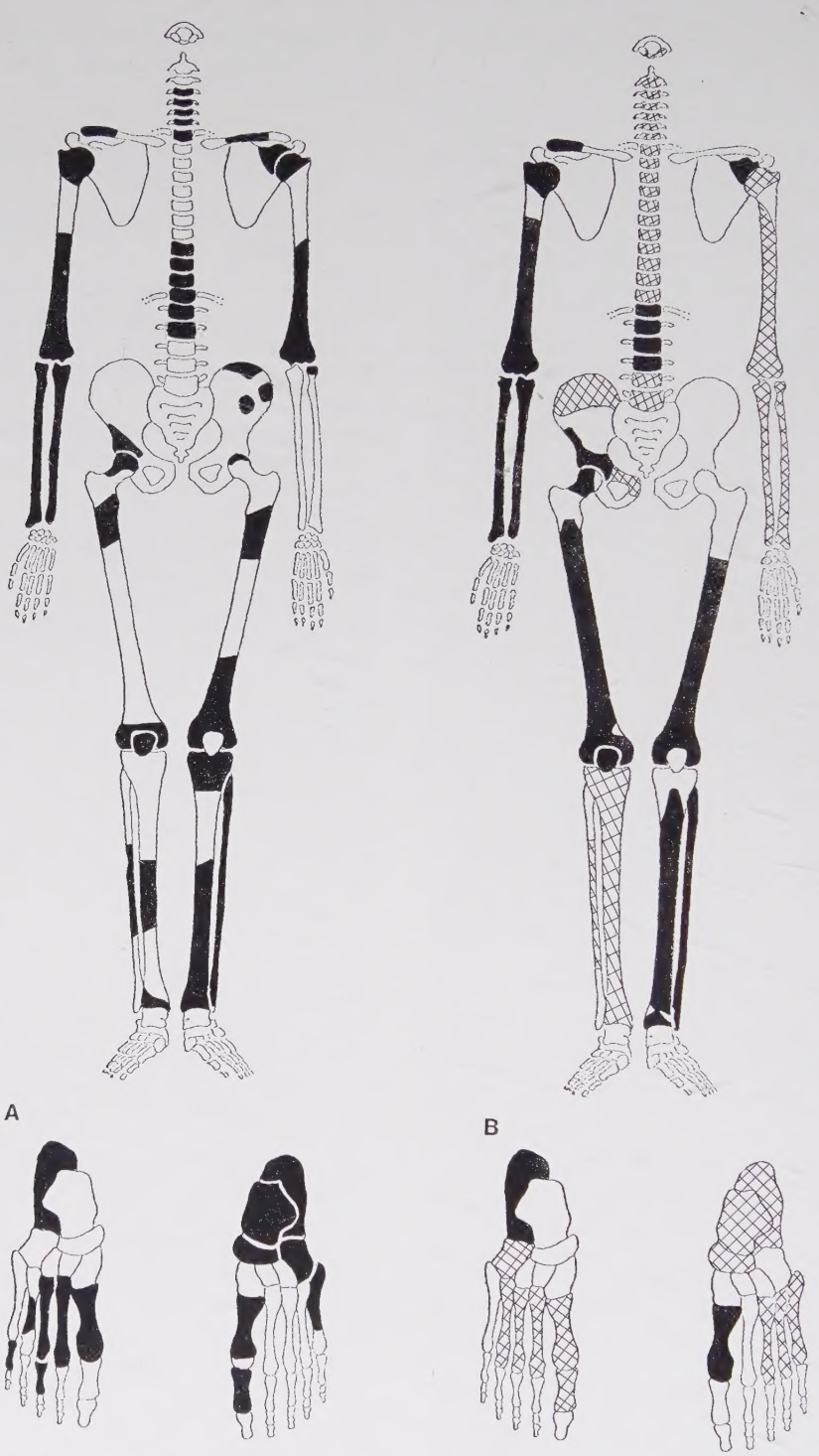


Abb. 2 Die Skeletreste von Combe Capelle nach dem Brand. A: Reste nach Heberer (1957); B: Reste nach Herrmann, Wirbelsäule halbschematisch

= sicher zugehörig, = wahrscheinlich zugehörig

doch keine Informationen, die für die Identifikation nützlich wären. Auch die einschlägigen Kataloge fossiler Hominiden helfen nicht weiter (Vallois und Movius, 1953; Oakley et al., 1971).

Ein Teil des wiederhergestellten Materials konnte mit Hilfe derzeit verfügbarer Abgüsse[1] als unzweifelhaft zu Combe Capelle gehörig identifiziert werden, in einigen Fällen war die Identifikation über charakteristische Merkmale möglich (Abb. 2 b; vgl. Kap. 2.4.).

Für eine Reihe weiterer Skeletelemente ergab sich eine „wahrscheinliche Zugehörigkeit" (Abb. 2 b; vgl. Kap. 2.4.). Zuordnungskriterium war hier die hohe morphologische Ähnlichkeit zu den als sicher identifizierten Stükken. Berücksichtigt wurde die Beschaffenheit der Knochenoberfläche, der Korrosionsgrad, Art und Intensität der Färbung und der z. T. vorhandene dünne Kalksinterüberzug, der auch an den sicher identifizierten Objekten zu beobachten war, der aber an keinem anderen der neben Combe Capelle nachgewiesenen Individuen auftrat. Dieses durchaus gebräuchliche Identifikationsverfahren (Breitinger, 1954; Brothwell, 1965) ist jedoch zu einem großen Teil von der Erfahrung des Bearbeiters abhängig. Erfahrungswissen läßt sich nur begrenzt reproduzieren und anderen Bearbeitern zugänglich machen. Es wurde deshalb nach einer Methode gesucht, die eine zuverlässige Aussage darüber liefern soll, ob die „wahrscheinlich zugehörigen" Skeletelemente tatsächlich zu Combe Capelle gehören. Als voraussichtlich geeignetes Verfahren bot sich die Neutronen-Aktivierungs-Analyse an (Kap. 2.2.). Nicht auszuschließen ist, daß zukünftig mit Hilfe der UV-Fluoreszenz (McKern, 1958; Eyman, 1966) auch die Trennung vermengter Leichenbrände möglich sein wird.

2.2. Identifikation mit der Neutronen-Aktivierungs-Analyse

Bei der Lösung gerichtsmedizinischer und kriminalistischer Identifizierungsprobleme hat sich seit einigen Jahren die Neutronen-Aktivierungs-Analyse (NAA) außerordentlich bewährt (Berg, 1967; Pribilla, 1971). Bei dieser Untersuchungsmethode wird die Probe einem Neutronenfluß ausgesetzt. Dadurch entstehen in der Probe Radionuklide, aus deren charakteristischen Zerfallseigenschaften die Elementkonzentrationen in der Untersuchungssubstanz bis in den Nanogrammbereich und darunter bestimmt werden kann. Wegen der Nachweis-Empfindlichkeit dieses Verfahrens reichen oft sehr geringe Substanzmengen für die Untersuchung aus. Über den Vergleich des Spurenelementgehaltes (SPG) in der Probe gegenüber dem SPG einer Ver-

[1] Für die Identifizierung standen sämtliche lieferbaren Abgüsse des postcranialen Skeletes von Combe Capelle zur Verfügung (Hersteller Fa. Krantz, Bonn; Stand: April 1972):
Atlas; Axis; Clavicula rechts und links (von der Fa. Krantz als „costae" bezeichnet; unter dieser falschen Bezeichnung auch in den Katalogen der fossilen Hominiden, vgl. Vallois und Movius, 1953; Oakley et al., 1971); Thorax-Block; Os sacrum; Os coxae links; Scapula links; Patella rechts und links; Humerus rechts; Ulna rechts; Radius rechts; Femur links; Tibia links; Fibula links; Calcaneus rechts.

Heberer berichtet von einer durch ihn vorgenommenen Härtung der Fragmente, die ich jedoch nicht mehr feststellen konnte. Zum Kleben verwendeten Heberer und Kurth einen Aceton und Essigsäureäthylester löslichen Kleber. Die von ihnen gesetzten Klebestellen wurden wegen der Empfindlichkeit des Materials nicht gelöst, obwohl die Klebefugen teilweise recht breit sind. Die Fugenbreiten wurden bei entsprechenden Messungen berücksichtigt.

Ich habe anhaftende und durch Brandeinfluß aufgeschmolzene Fremdkörper mit Präpariernadel und Borstenpinsel von den Knochen entfernt. Alle Fragmente, mit Ausnahme einiger Rippenstücke, wurden mit dem acetonlöslichen Zellulosekleber Liofol LK 10 (Hersteller Fa. Sichel, Hannover) in der von mir 1971 beschriebenen Weise gehärtet. Liofol LK 10 wurde auch als Klebemittel verwendet.
Zur Überbrückung kleiner Partien am rechten Radius und der rechten Ulna diente niedrigschmelzendes Paraffin (Hersteller Fa. Merck, Darmstadt).
Die Wirbel Th 12 bis L 3 befanden sich noch im Block. Das Sediment enthielt zahlreiche Silexsplitter. Der Abdruck dieser Wirbel im Sediment wurde durch Härten des Sedimentblockes erhalten. Die Metatarsalia links 3 und 4 wurden ebenfalls in einer Sedimentumhüllung angetroffen.

Das gesamte von Heberer und Kurth geborgene Material wird im Museum für Vor- und Frühgeschichte, Staatliche Museen der Stiftung Preußischer Kulturbesitz, 1 Berlin 19, Schloß Charlottenburg, Langhansbau, aufbewahrt.

gleichsprobe kann die Herkunft geringster Substanzmengen, die sich an einem Tatort finden, nachgewiesen werden, z. B. von Farbspritzern, Papier, Glas, Geschossen, Pulverschmauchspuren, Haaren (Bate und Dyer, 1965; Bryan et al., 1967 a, 1967 b; Andersen et al., 1967; Coleman et al., 1967; Guinn, 1967; Schlesinger et al., 1967; Guinn, 1970 a; Lukens und Guinn, 1971. Eine Bibliographie der gerichtsmedizinisch und kriminalistisch relevanten NAA-Untersuchungen hat Guinn, 1970 b, zusammengestellt).

Bei der Identifizierung des von Heberer und Kurth geborgenen Materials konnten einige Skeletteile mit morphologischen Kriterien nur als „wahrscheinlich zu Combe Capelle gehörig" bestimmt werden. Es sollte daher geprüft werden, ob der Spurenelementgehalt in diesen Knochen dem Spurenelementgehalt der zweifelsfrei identifizierten Stücke entspricht. Dies würde eine Absicherung der Diagnose „wahrscheinlich zugehörig" bedeuten.

Der Spurenelementgehalt eines Skeletes muß, neben dem physiologisch vorgegebenen Wert, vom Lebensraum und den Ernährungsgewohnheiten des Individuums abhängen, bei prähistorischen Skeleten zusätzlich von den Kontaminationen während der Liegezeit. Die zusammen mit Combe Capelle im selben Raum untergebrachten Funde stammten sämtlich aus unterschiedlichen geographischen Regionen. Für Combe Capelle konnte deshalb ein SP-Muster angenommen werden, das sich von dem der anderen Skelete unterscheidet und somit als Identifizierungskriterium benutzt werden kann.

Die Durchführung und Auswertung der NAA übernahmen freundlicherweise Herr Dr. P. Brätter, Frau H. Gessner, Herr Dipl.-Chem. J. Lausch und Herr Dr. U. Rösick, Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin, denen ich für die Überlassung der Untersuchungsergebnisse danke. Eine ausführliche Darstellung der Untersuchung und ihrer Ergebnisse wird an anderer Stelle erfolgen (Brätter et al., in Vorbereitung). Von Combe Capelle wurden insgesamt 111 Proben ($\geq$ 5 mg) untersucht, deren Entnahmeort aus Abb. 3 ersichtlich sind. In Abb. 3 nicht aufgeführt sind die Entnahmeorte an den meisten Hand- und Fußknochen und den Rippen. Zusätzlich wurde Sediment des Thoraxblockes und Schmelze des Vitrinenglases untersucht.

Um die Signifikanz von Konzentrationsunterschieden der SP an einzelnen Skeletabschnitten abzuschätzen, wurden Vergleichsproben von einem 100jährigen Skelet (Caygua Indianer, männlich; RV 2137; vgl. Z. f. Ethnologie 7 (1875) : (159) — (167) mituntersucht. Bestimmt wurde der Gehalt von maximal 16 Elementen: Ca, Na, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Sr, Sb, Cs, La, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf. Die ermittelten Gehalte einiger Proben sind zur Veranschaulichung in Tabelle 1 aufgeführt.

Weicht der Gehalt nur eines Elementes in der Probe gegenüber der Vergleichsprobe ab, so ist damit noch keine Ausschlußmöglichkeit gegeben. Die Zugehörigkeit eines Skeletteiles kann erst dann bezweifelt werden, wenn sein Gehalt an einer Reihe von SP gegenüber dem SPG in einem entsprechenden, sicher zugehörigen Skeletteil abweicht und die Abweichungen nicht mit dem SPG des Sedimentes korreliert werden können. Den einzelnen Elementen kommt dabei unterschiedliche Aussagekraft zu (Brätter et al.). Nach den Ergebnissen der NAA treten Zweifel an der Zugehörigkeit bei folgenden Knochen auf, die nach morphologischen Kriterien als „wahrscheinlich zugehörig" bezeichnet wurden: einem oberen Brustwirbel, einem Lendenwirbel, zwei Metatarsalia und zwei Phalangenfragmenten (Abb. 4 und Kap. 2.4.). Als Beispiel für eine gute Übereinstimmung zwischen zweifelsfrei und wahrscheinlich zugehörigen Skeletteilen sind in Tab. 1 beide Oberarme von Combe Capelle aufgenommen. Der rechte Humerus (NAA-Nr.: 26, 27, 28) konnte anhand des Abgußes sicher zu Combe Capelle gehörig identifiziert werden. Der linke Humerus (NAA-Nr.: 29, 31, 32) erschien nach morphologischen Kriterien wahrscheinlich zugehörig. Diese Diagnose wird durch die Übereinstimmung der SP-Muster beider Humeri gestützt. Abweichungen im SPG des linken Humerus lassen sich mit dem SPG des Sedimentes korrelieren. Erwartungsgemäß zeigen Epiphysen einen höheren SPG als die Diaphysen. Dies beruht sicher auf dem intensiveren Stoffwechsel zu Lebzeiten sowie der relativ größeren Oberfläche der spongiosen Epiphysen und der damit verbundenen größeren Kontaminationswahrscheinlichkeit während der Liegezeit.

Als Beispiel eines Falles, bei dem das SP-Muster die Zugehörigkeit eines Skeletteiles

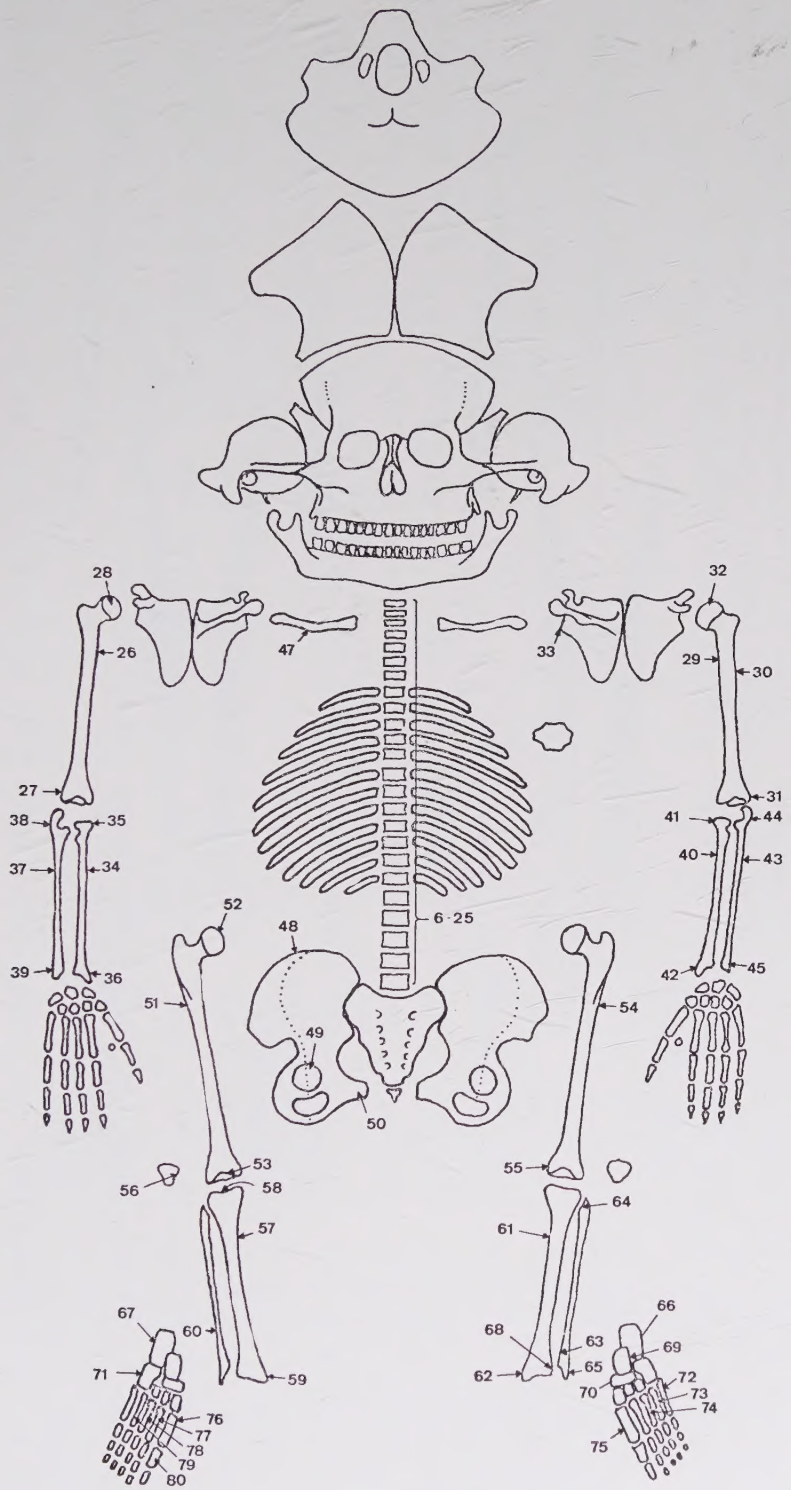


Abb. 3 Combe Capelle, Entnahmeorte der Proben für NAA. Die Zahlen entsprechen den Probenummern

Tabelle 1

Gehalt (ppm) der Elemente in einigen der untersuchten Proben

Die Übereinstimmung des Spurenelementgehaltes beider Humeri stützt die morphologische Diagnose „wahrscheinlich zu Combe Capelle gehörig" für den linken Humerus; dagegen bestehen Zweifel an der Zugehörigkeit des rechten Metatarsale I wegen erheblicher Abweichungen des Spurenelementgehaltes gegenüber dem linken Metatarsale I (Erläuterung im Text).

Nr	Probe	Ca (Gew %)	Na	Sc	Cr	Mn	Fe	Co	Sm	Eu	Tb	Yb	Sr	Hf	Sb	Cs	La
3	Sediment, Thoraxblock	41.0	1414	3.39	25.4	540.2	20405	6.85	3.74	0.657	0.8	1.55	4.19	296.2	0.902	3.49	18.7
re. Humerus																	
26	Diaphyse	39.0	4663	0.035	14.0	54.8	51.3	0.984	n. d.	0.006	n. d.	n. d.	0.037	n. d.	0.496	0.048	0.044
27	dist. Epiphyse	31.8	3923	0.214	10.7	30.1	594	1.04	n. d.	0.035	0.045	n. d.	0.488	182.3	1.31	0.179	0.731
28	prox. Epiphyse	35.7	4687	0.393	12.2	125.1	2603	1.77	0.286	0.072	0.039	0.150	0.476	n. d.	1.0	0.300	1.74
li. Humerus																	
29	Diaphyse	26.7	3560	0.065	13.8	38.6	2188	0.944	n. d	0.014	0.043	n. d.	n. d.	n. d.	0.375	0.045	0.322
31	dist. Epiphyse	36.5	3246	0.289	15.6	138.5	1223	1.30	n. d.	0.059	0.044	0.066	0.739	n. d.	1.07	0.113	1.76
32	prox. Epiphyse	34.5	1424	0.311	8.86	73.5	1587	0.814	0.464	0.063	0.067	n. d.	0.321	5815	0.525	0.330	2.32
Metatarsalia																	
75	links I	37.3	3091	0.380	9.31	176.4	2003	2.25	1.02	0.066	0.077	0.239	0.212	364.8	4.78	0.138	2.33
76	rechts I	30.3	3098	0.905	8.31	150.3	1671	3.14	2.26	0.162	0.572	n. d.	0.300	222.8	2.85	6.01	9.93

n. d. = not detected

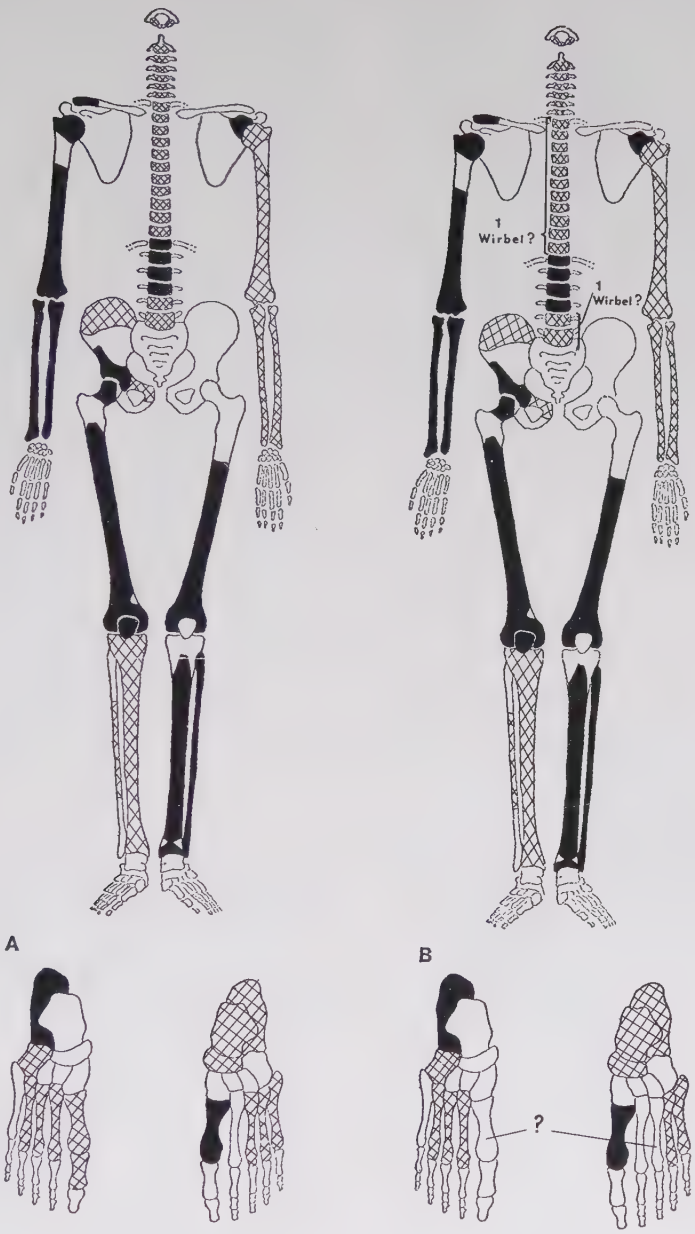


Abb. 4 Gegenüberstellung der Identifikationsergebnisse. Fig. A: Zugehörigkeit nach morphologischen Kriterien. Fig. B: Zugehörigkeit nach Ergebnissen der Neutronen-Aktivierungs-Analyse

sicher zugehörige Skeletelemente

wahrscheinlich zugehörige (in Fig. A nach morphologischen Kriterien; in Fig. B nach Ergebnissen der NAA)

? Zugehörigkeit zweifelhaft

Wirbelsäule halbschematisch

in Frage stellt, ist das rechte Metatarsale I (NAA-Nr. 76) in Tab. 1 aufgeführt. Das SP-Muster dieses Knochens weicht beträchtlich vom SP-Muster des sicher zugehörigen linken Metatarsale I (NAA-Nr. 75) ab. Die Abweichungen lassen sich nicht mit dem SPG des Sedimentes korrelieren; die Zugehörigkeit des rechten Metatarsale I ist daher anzuzweifeln.

Die Identifizierung eines Skeletes über sein SP-Muster ist Neuland. Die Schwierigkeiten bestehen darin, daß bisher nur wenige detaillierte Daten über den SPG im Knochen vorliegen (McLean und Budy, 1964; Tipton und Shafer, 1964; Bowen, 1966; Becker et al., 1968; Spadaro et al., 1970). Die Verteilung der Spurenelemente in den Abschnitten einzelner Knochen scheint dagegen noch nicht systematisch untersucht worden zu sein.

Insgesamt bestätigt das Ergebnis der NAA die nach morphologischen Kriterien erfolgte Zuordnung (Abb. 4). Zweifel an der Zugehörigkeit bestehen nur bei wenigen Knochen. Es zeigt sich, daß die NAA zur Trennung vermischten Skeletmaterials als zusätzliches Kriterium gut geeignet ist. Skeletteile können offensichtlich über ihren SPG als zu einem bestimmten Skelet gehörig identifiziert werden. Dies gilt zumindest für jene Fälle, bei denen prähistorische Skelete von unterschiedlichen Fundorten miteinander vermengt wurden.

2.3. Liegezeitbestimmung

Liegezeitbestimmungen sind auch an Leichenbränden möglich. Hierfür bieten sich vorrangig die 14-C-Methode sowie die Fluor- und Uranyldatierung an (Molleson und Oakley, 1966; Oakley und Gardiner, 1968). So wurde der älteste bisher bekannte Leichenbrand, der am Lake Mungo, Australien, gefunden wurde (Bowler et al., 1970), über Kollagen-Fraktionen und Apatit auf 26 000 Jahre datiert (Thorne, 1972). Daneben besteht mit der derivatographischen Untersuchung von Knochenproben auch ein für Leichenbrände nutzbares Verfahren (Kiszely, 1969 a, 1969 b; Kiszely und David, 1969), das aber gegenwärtig noch auf relativ junge Proben beschränkt ist (bis ca. 7000 Jahre vor heute). Die von gerichtsmedizinischer Seite entwickelten Liegezeitbestimmungen (Berg und Specht, 1958; Berg, 1964; Knight und Lauder, 1969) und andere, paläanthropologisch orientierte Verfahren (Lengyel und Nemeskeri, 1964; Lengyel, 1968), sind in vorliegender Form nicht auf verbranntes Knochenmaterial anwendbar.

Angesichts der Diskussion über das Alter der Fundschicht (Asmus, 1964; Narr, 1968), ist es bedauerlich, daß für Combe Capelle keine direkte Datierung vorliegt. Das von Oakley (1966) für Combe Capelle angegebene Alter von 34 000 Jahren beruht auf einer Parallelisierung der Fundschicht von Combe Capelle mit einer entsprechenden Schicht in der Grotte du Renne, für die eine Direktdatierung vorliegt. Oakley wies 1965 darauf hin: „Dating of the Combe Capelle skeleton should not be impossible by measuring the radioactivity of residual collagen in the post-cranial material."

Das Skelet von Combe Capelle war längere Zeit Temperaturen um 700°—800° C ausgesetzt (vgl. 4.1.). Infolge des damit verbundenen vollständigen Verlustes organischer Substanzen ist eine Kollagendatierung nicht mehr möglich. Für eine Apatitdatierung einer Probe vom geologischen Alter Combe Capelles benötigte man ungefähr 1000 Gramm Knochenmaterial, d. h., man müßte fast das gesamte erhaltene Skeletmaterial opfern. Zudem ist wegen der Anwendung von Konservierungsmitteln, wegen der unkontrollierbaren Lagerung im Ruinenschutt etc. ein zweifelhaftes Ergebnis zu erwarten. Eine direkte Datierung von Combe Capelle ist mit derzeitigen Methoden nicht gegeben. Für eine Relativ-Datierung fehlen meines Wissens geeignete Vergleichsobjekte.

2.4. Verzeichnis der erhaltenen Skeletelemente

Eine detaillierte Aufstellung aller Skeletelemente, die Klaatsch und Hauser 1909 von Combe Capelle geborgen haben, fehlt bislang. Ich habe deshalb versucht, aus der Literatur eine möglichst vollständige Liste der ursprünglich vorhandenen Teile des postcranialen Skeletes aufzustellen. Hauptsächlich mußte dafür auf Abbildungen des Skeletes zurückgegriffen werden (vgl. Abb. 1; Schuchhardt, 1910; Waldeyer und Bonnet, 1910; Gagel, 1922).

Das Verzeichnis ist so aufgebaut, daß zunächst die Angaben von Klaatsch und Hauser (1910) aufgeführt werden, die gegebenenfalls um Angaben aus den genannten Quellen

ergänzt sind. Anschließend werden die jeweils erhalten gebliebenen Skeletteile aufgeführt, wie ich sie in dem von Heberer und Kurth geborgenen Material aufgefunden habe bzw. aus diesem wiederherstellen konnte. Zusätzlich sind die von mir verwendeten Identifizierungskriterien angegeben.

Abb. 5 Knochen der oberen (a) und unteren (b) Extremitäten von Combe Capelle (nach Klaatsch und Hauser, 1910; Taf. 34, 35)

1. Clavicula re. und li., defekt

Erhalten nur die Extremitas acromialis der rechten Clavicula (Abb. 8); identifiziert nach Abguß.

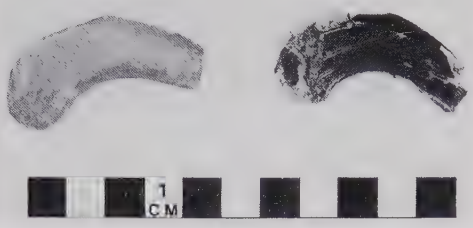


Abb. 8 Verbranntes Fragment des rechten Schlüsselbeines (re) neben Abguß; Cranialansicht

2. Scapula re. und li., defekt

Erhalten die Region des Collum scapulae und des Acromion der linken Scapula (Abb. 9); identifiziert nach Abguß.

Abb. 9 Verbranntes Fragment des linken Schulterblattes; Dorsalansicht

3. Humerus re., leicht defekt

Erhalten das defekte Cap. humeri; es fehlt ein etwa 3 cm langes Stück der prox. Diaphyse (Abb. 6 a);
identifiziert nach Abguß.

4. Humerus li., vollständig

Erhalten das defekte Cap. humeri, die Diaphyse medial bis fast an die Epiphysen-

grenze; es fehlt die dist. Epiphyse (Abb. 6 b); identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster.

5. Radius re., vollständig

Nahezu vollständig erhalten; kleiner Defekt an Collum und Tub. radii und distaler Epiphyse (Abb. 6 c);
identifiziert nach Abguß.

6. Radius li., vollständig

Vollständig erhalten; Hitzerisse in der prox. und dist. Metaphyse (Abb. 6 d);
identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster.

7. Ulna re., vollständig

Nahezu vollständig erhalten; fehlt Olecranon und Proc. styloideus, sowie etwa 0,5 cm der Diaphysenmitte (Abb. 6 c);
identifiziert nach Abguß.

8. Ulna li., vollständig

Nahezu vollständig erhalten; fehlt Proc. styloideus (Abb. 6 d);
identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster.

a b

c d

Abb. 6 Überreste der verbrannten Knochen der oberen Extremitäten. (a) = rechter Oberarm neben Abguß; (b) = linker Oberarm; (c) = rechter Unterarm neben Abguß; (d) = linker Unterarm

9. Ossa manus re. und li., es fehlen einige der kleinen Knochen der Hand (Klaatsch, 1910),
ursprünglich waren vorhanden:

re. Hand:	li. Hand:
3 (?) Carpalia	? Carpalia
mind. 4 Metacarpalia (II–V)	mind. 4 Metacarpalia (I–IV)
Phalang. prox. I–V	2 Phalang. prox. (I, III)
Phalang. med. II–V	? Phalang. med.
? Phalang. dist.	? Phalang. dist.
Phalanx dist. pollicis	

Erhalten sind 4 Carpalia, die sowohl nach morpholog. Kriterien als auch nach dem Spurenelementmuster wahrscheinlich zu Combe Capelle gehören:
Os scaphoideum li., Os capitatum li., Os lunatum li., Os lunatum re.
Bezüglich der erhaltenen Metacarpalia- und Phalangenfragmente vgl. 18.

10. Os coxae re. und li., defekt;
die Abb. 1 (Postkarte O. Hausers) spricht für das ursprüngliche Vorhandensein eines rechten Os pubis.
Erhalten sind Oberrand des rechten Darmbeines, Fragment des rechten Corpus ossis ilii mit Acetabulumanteil und Scheitel der Incis. isch. major, Ramus superior und

Fac. symphysialis des rechten Schambeines (Abb. 10);
identifiziert nach Verletzung am Fragment des Corpus os. ilii, nach morphologischen Kriterien und Spurenelementmuster.

a b c

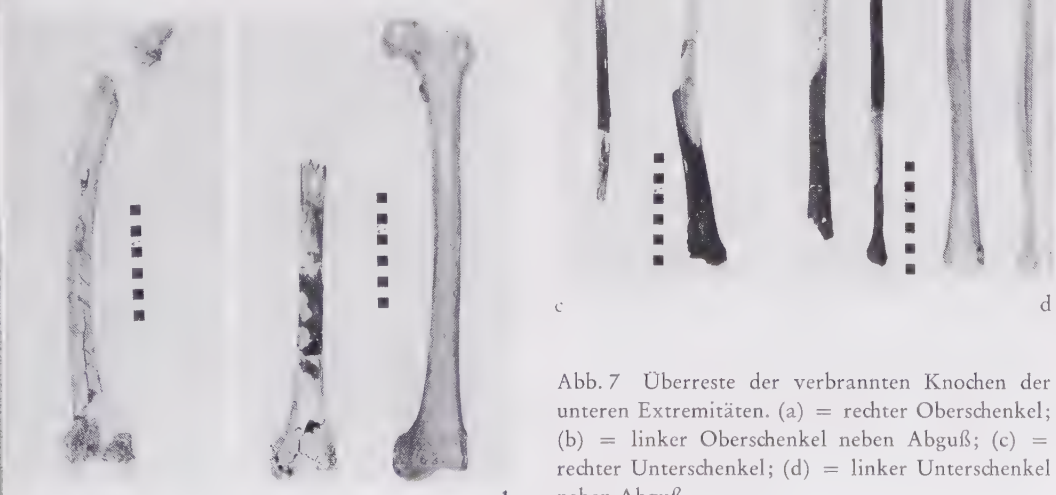
Abb. 10 Verbrannte Fragmente des rechten Hüftbeines (a); Lage der Fragmente im Hüftbein (b) und (c)

11. Femur re., größerer Defekt am Caput femoris, kleinerer am Epicondylus medialis

Erhalten sind laterale Hälfte des Cap. femoris und Collumansatz, Diaphyse vom Troch. minor distalwärts einschließlich großer Teile der dist. Epiphyse;
Defekt an der distalen Metaphyse und dist. Epiphyse (Abb. 7 a);
identifiziert nach den Verletzungen am Caput und Diaphyse (vgl. Abb. 5 b).

12. Femur li., kleiner Defekt am Epicondylus lateralis

Erhalten ist das Femur ohne prox. Viertel (Abb. 7 b);
identifiziert nach Abguß.



a b c d

Abb. 7 Überreste der verbrannten Knochen der unteren Extremitäten. (a) = rechter Oberschenkel; (b) = linker Oberschenkel neben Abguß; (c) = rechter Unterschenkel; (d) = linker Unterschenkel neben Abguß

13. Patella re. und li.

Erhalten ist die rechte Patella mit leichten Defekten des Randes (Abb. 12)

Abb. 12 Verbrannte rechte Kniescheibe (li) neben Abguß

14. Tibia re., größerer Defekt vorn über der Mitte, (vgl. Abb. 5 b)

Erhalten die Dorsalseite und dist. Drittel der Ventralseite, dist. Epiphyse ohne Malleolus medialis (Abb. 7 c);
identifiziert nach Lage und Art der Defekte sowie Spurenelementmuster.

15. Tibia li., kleinere Substanzverluste am prox. Ende, Malleolus ist abgebrochen und befindet sich an dem gemeinsam die Teile des linken Fussskelets umfassenden Stück

Erhalten nur die Diaphyse und ein kleines Bruchstück der dist.
Epiphyse (Abb. 7 d); identifiziert nach Abguß.

16. Fibula re., vollständig

Erhalten sind $^4/_5$ der Diaphyse (Abb. 7 c); identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster.

17. Fibula li., vollständig

Vollständig erhalten (Abb. 7 d); identifiziert nach Abguß.

18. Ossa pedis re. und li., zum größten Teil vorhanden

nach Abb. 1 und Gagel (1922) waren ursprünglich vorhanden:

re. Fuß:

Tarsalia vollst.
Metatarsalia vollst.
Phalanges prox. II—V
Phalanx prox. hallucis?
Phalanges mediales II—IV
Phalanges distales III, IV

li. Fuß:

(vgl. bes Klaatsch, 1910, Abb. 1)
Tarsalia vollst.
Metatarsalia vollst. (V nur prox. Hälfte)

Erhalten sind (Abb. 13):

re. Fuß:

Calcaneus
Os cuboideum
Metatarsale I—IV
Phalanx prox. hallucis
identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster, Calcaneus nach Abguß; nach Ergebnis der NAA besteht Zweifel an der Zugehörigkeit des Metatarsale I.

li. Fuß:

Calcaneus, Talus, Os naviculare Metatarsale I, III—V
identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster; nach Ergebnis der NAA besteht Zweifel an der Zugehörigkeit von Metatarsale III.

a b

Abb. 13 Verbrannte Fußknochen des linken (a) und rechten (b) Fußes

Außerdem sind von den Metacarpalia sowie den Phalangen der Hände und Füße 27 Fragmente erhalten, die nach morphologischen Kriterien zugehörig erscheinen; nach dem Ergebnis der NAA besteht bei zwei Fragmenten Zweifel an ihrer Zugehörigkeit.

19. Costae, die Zahl der Rippen bietet, soweit wie bisher zu ermitteln war, keine Abweichung von der Norm

Erhalten sind wenige Rippenfragmente, z. T. noch im Glasfluß;
identifiziert nach morpholgischen Kriterien.

20. Columna vertebralis,
nach Beschreibung von Wetzel in Klaatsch und Hauser (1910)

Ursprünglich vorhanden:		Erhalten sind:
Atlas, defekt		Atlasfragment mit Proc. transv. und Fov. art. sup. et inf. links
Axis, vollständig		Axis, Corpus ohne Dens
3. Halswirbel 4. Halswirbel	nahezu vollständig	2 zusammenhängende Halswirbel mit def. Arcus
5. Halswirbel 6. Halswirbel 7. Halswirbel	nur Corpus erhalten	2 Halswirbel, nur Corpus erhalten
1. Brustwirbel 2. Brustwirbel 3. Brustwirbel	größere Bruchstücke	3 obere Brustwirbel, nur Corpus (NAA-Nr. 21, 22, 23)
4. Brustwirbel 5. Brustwirbel 6. Brustwirbel 7. Brustwirbel 8. Brustwirbel		4 mittlere Brustwirbel mit defekten Arcus, davon zwei zusammenhängend (NAA-Nr. 8, 9, 10)
9. Brustwirbel 10. Brustwirbel 11. Brustwirbel	im Thoraxblock	3 untere Brustwirbel, nur Corpus (NAA-Nr. 11, 12, 13)
12. Brustwirbel		12. Brustwirbel zusammen mit
1. Lendenwirbel		1. Lendenwirbel
2. Lendenwirbel		2. Lendenwirbel im Block[2]
3. Lendenwirbel 4. Lendenwirbel	liegen isoliert vor[2]	3. Lendenwirbel (Abb. 11)
5. Lendenwirbel	dem Sacrum angeschlossen	2 Corpusfragmente von Lendenwirbeln (NAA-Nr. 24, 25)
Sacrum		

[2] Das von mir gefundene Bruchstück des Thoraxblockes von Combe Capelle (Abb. 11, identifiziert nach Abguß) enthielt die Wirbel Th 12 bis L 3. Dieser Befund steht im Widerspruch zu der An-

Nach den Ergebnissen der NAA ist die Zugehörigkeit eines oberen Brustwirbels (NAA-Nr. 23) und eines Lendenwirbels (NAA-Nr. 24) fraglich. Identifiziert nach morpholog. Kriterien und Spurenelementmuster; die en-bloc gefundenen Wirbel Thl 12 bis L 3 über die Lage der Silexsplitter und Rippenfragmente nach Abguß.

Abb. 11 Die verbrannten Wirbel Th 12 bis L 3 im Sedimentblock. Links neben L 1 ein Feuersteinabschlag, der dem Wirbelfortsatz aufliegt

3. Allgemeines zur Problematik der Leichenbranduntersuchung

Wie kaum ein zweites Arbeitsgebiet der Anthropologie hat die Leichenbranduntersuchung innerhalb kurzer Zeit eine Fülle grundsätzlicher Stellungnahmen zu ihren Problemen hervorgebracht: Wrozek (1928), Krumbein (1934), Dijkstra (1938), Huizinga (1952), Kloiber (1953), Schaefer (1958), Wells (1960), Chochol (1961), Dzierzykray-Rogalski und Prominska (1962), Dokladal (1963), Gejvall (1963), Grimm (1964), Chr. Müller (1964), Spence (1967), Lisowski (1968), Dokladal (1969), Malinowski (1969), Thieme (1970), Bandi und Nemeskeri (1971), Aner (1972), Gladykowska-Rzeczycka (1971), Buikstra (im Druck). Außerdem finden sich in zahlreichen Veröffentlichungen über Leichenbrand-Bearbeitungen weitere grundsätzliche Bemerkungen. Diese Zahl suggeriert einen gewaltigen Fortschritt in der Leichenbrandanalyse, tatsächlich blieb jedoch der reale methodische und erkenntnismäßige Zugewinn vergleichsweise gering. Dabei ist die Leichenbranduntersuchung gerade in methodischer Hinsicht reizvoll, und Rudolf Martins Hinweis im Vorwort seines Lehrbuches (1914), daß von der Entwicklung geeigneter und spezifischer Methoden das Schicksal der Anthropologie abhinge, hat hier seine besondere Gültigkeit. Die Bearbeitung verbrannter Knochen bewegt sich im Grenzbereich morphologischer Aussagemöglichkeiten und ist somit eine Herausforderung bestehender Untersuchungsmethoden. Der Wert der Leichenbranduntersuchung liegt darin, daß sie als methodisches Experimentierfeld die Qualität eines Verfahrens unter Extrembedingungen prüft. Auf diese Weise trägt sie zur Entwicklung anderer morphologischer Disziplinen innerhalb der Anthropologie bei.

Seit Jahren setzt man bevorzugt statistische Methoden bei der Untersuchung von Skeletserien ein und kann damit zahlreiche Merkmale optimal erfassen. Da Einzelskelete nur sehr begrenzt mit statistischen Mitteln zu beurteilen sind, bedarf es hierfür weitgehend morphologischer Verfahren. Die überwiegend statistischen Untersuchungsmethoden hatte eine geringe Zahl an Verbesserungsvorschlägen im morphologischen Bereich der Individualdiagnose zur Folge (vgl. die geringe Zahl der von Bass, 1969, zusammengestellten Arbeiten). Die Leichenbranduntersuchung ist aber gerade auf verbesserte und neue morphologische Diagnoseverfahren angewiesen, weil sich Leichenbrände aufgrund ihrer Beschaffenheit einer statistischen Bearbeitung

gabe Wetzels (in Klaatsch und Hauser, 1910, :333), wonach sich im Thoraxblock insgesamt die Wirbel Th 4 bis L 2 befanden, L 3 und L 4 lagen isoliert vor und L 5 war dem Sacrum „angeschlossen" (knöchern verbunden?). Nach meinem Befund lagen dagegen drei Lendenwirbel im Thoraxblock vor (L 1 bis L 3). Wetzel hat seinerseits drei Lendenwirbel beschrieben, die sich außerhalb des Thoraxblockes befanden. Es könnten daraus für Combe Capelle 6 Lendenwirbel angenommen werden. Leider ist diese Frage an den erhalten gebliebenen Skeletresten nicht mehr zu klären.

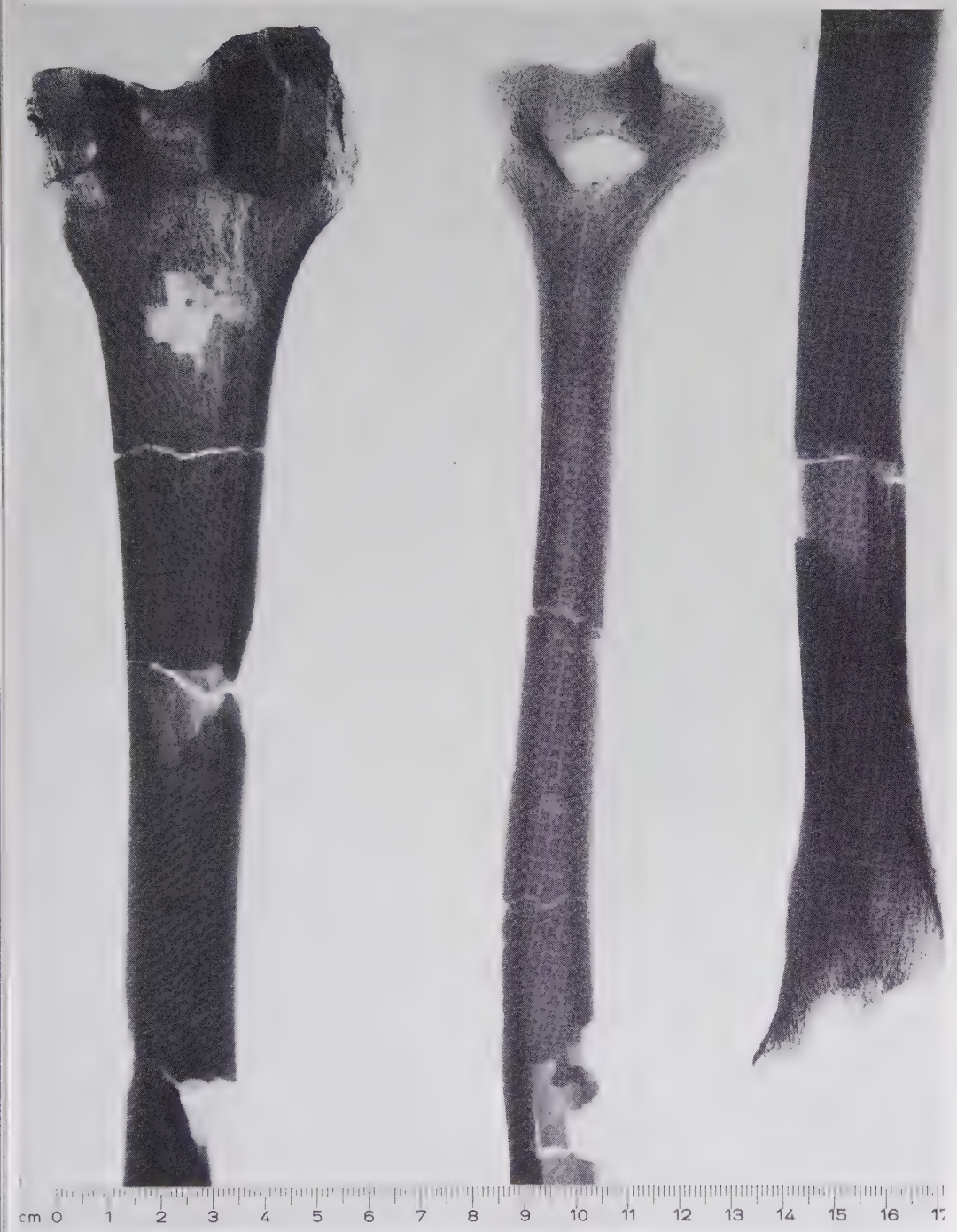


Abb. 14 Röntgenaufnahme des (a) = rechten Oberschenkels, oberer Abschnitt; (b) = rechten Oberarmes, unterer Abschnitt; (c) = linken Oberschenkels, unterer Abschnitt. Aufnahme: R. D. Meyer

(noch) weitgehend entziehen. Eine umfassende systematisch-methodische Grundlagenforschung zur Verbesserung morphologischer Diagnosemöglichkeiten im Bereich der Leichenbranduntersuchung ist daher ein absolutes Erfordernis.

Combe Capelle erscheint als geeignetes Demonstrationsobjekt dafür, welche Aussagemöglichkeiten bei einem umfassenden Methodeneinsatz gegenwärtig in der Leichenbranduntersuchung bestehen. Das verbrannte Skelet von Combe Capelle unterscheidet sich zwar insofern von einem Leichenbrand, als es erst nach einer Liegezeit von ca. 34 000 Jahren verbrannte. Daraus ergeben sich einige nicht abschätzbare Unterschiede gegenüber einem „klassischen" Leichenbrand. Die hier vorgetragenen Ergebnisse haben eo ipso einen objektbedingten Unsicherheitsfaktor, der über dem für die Leichenbrandanalyse bekannten Unsicherheitsfaktor liegt. Dennoch bedeutet Combe Capelle eine Chance für die Leichenbranduntersuchung. Weil das postcraniale Skelet vor der Verbrennung untersucht war, werden die Schlußfolgerungen aus der Untersuchung der verbrannten Skeletelemente von Combe Capelle weitgehend kontrollierbar.

Abb. 15 Röntgenaufnahme des oberen Endes eines rezenten Oberschenkels vor der Verbrennung (li) und nach der Verbrennung (850° C/1.5 h). Man beachte die wärmebedingten Form- und Größenveränderungen. Aufnahme: R. D. Meyer

Der Terminus „Leichenbrand" ist sinngemäß an die Verbrennung eines Leichnams gebunden und trifft sensu strictu auf die Reste einer Skeletverbrennung wie im Falle von Combe Capelle nicht zu. „Leichenbrand" wird innerhalb dieser Arbeit mit ausschließlichem Bezug auf prähistorische oder gegenwärtige Leichenverbrennungen benutzt. Zur sprachlichen Entlastung wird „Combe Capelle" synonym für die verbrannten Skeletelemente des Individuums von Combe Capelle verwendet. Angaben, die sich auf das Skelet vor seiner Verbrennung beziehen, werden als solche ausdrücklich hervorgehoben.

4. Wärmeinduzierte Veränderungen des Knochens

Die Leichenbranduntersuchung ist zuerst ein Thema der Biochemie und der Materialkunde. Die qualitativ-quantitative Zusammensetzung sowie die Materialeigenschaften des Knochens sind von grundlegender Bedeutung für das Verständnis seiner wärmeinduzierten Veränderungen.

Als Modell weiterer Betrachtungen dient hier der kompakte Knochen, dessen Zusammensetzung und Eigenschaften von denen der Spongiosa abweichen.

4.1. Thermische Umwandlungsreaktionen des Knochenminerals

Mineralogisch gehört Knochenmineral zu den Apatiten. Wegen seiner uneinheitlichen Beschaffenheit bereitet die Erfassung thermischer Umwandlungsreaktionen des Knochenminerals erhebliche Schwierigkeiten. Da hier unmöglich näher auf die Biochemie des Knochenminerals eingegangen werden kann, verweise ich auf: Amprino und Engström, 1952; Bourne, 1972; Brown, 1964; Dallemagne, 1964; Dulce, 1970; Eanes et al.; Frost, 1964; Hayek, 1967; Klement, 1937; Münzenberg, 1970; Neuman und Neuman, 1958; Newesely, 1967; Posner et al.; Posner, 1969; Vinz, 1970 b.

Das Knochenmineral liegt in seiner Gesamtheit nicht in gutkristalliner Phase vor, sondern zu einem erheblichen Anteil in mikrokristalliner Form (35—40 %), die möglicherweise bis ins „Amorphe" hineinreicht. Dulce (1970) definiert daher das Knochenmineral „als ein mit amorphen Phasen durchsetztes carbonathaltiges apatitisches Calciumphosphat von unregelmäßigem Gitterbau ... Eine einheitliche Formel für die kristalline Phase des Knochenminerals und eine statistische Verteilung der im Knochenmineral vorliegenden Kristallgitter kann man nicht geben. In beiden Kristallgittern sind nichtstöchiometrische Substitutionen nach dem Prinzip

$$(Ca, H, Na, Mg)_{10}\ (PO_4CO_3)_6\ (OH, F, CO_3)_2$$

$$(Ca, Na)_8\ H_2\ (PO_4CO_3)_6 \cdot 5\ H_2O$$

möglich."

Tatsächlich liegt ein Defektapatit als Zwischenphase zwischen den Grenzstrukturen mit dem moloren Ca/P = 1.3 (Octacalciumphosphat) und dem molaren Ca/P = 1.67 (Hydroxylapatit, Carbonatapatit, carbonatsubstituierter Hydroxylapatit) vor, wobei zusätzliche Adsorptionsvorgänge, insbesondere mit Ca, eine wesentliche Rolle spielen. Daher wird in der Literatur allgemein ein Ca/P von 1.67 bis 1.8 angegeben.

Aufgrund dieser sehr komplizierten biochemischen Verhältnisse kann gegenwärtig nicht mehr als eine Modellvorstellung über die thermischen Umwandlungsreaktionen gegeben werden. Diese werden methodisch mit der Röntgenstrukturanalyse (XRD) nach Debeye-Scherrer, der Kleinwinkelbeugung und der Infrarotspektroskopie (IR) verfolgt (Engström und Zetterström, 1951; Engström und Finean, 1953; Périnet, 1964; Engström, 1965). (vgl. Abb. 16)

Innerhalb der Temperaturen 100° bis etwa 700° C tritt zunächst eine Dehydratation auf, und es beginnt eine allmählich zunehmende Rekristallisation, d. h., Knochenmineral wird störungsfreier und in größere Einheiten umkristallisiert (Engström, 1972). Ab 600—700° C ist ein CO_2-Verlust zu verzeichnen. Infolge der Dehydratation setzt eine Umwandlungsreaktion ein, wobei „Pyrophosphat" mit dem molaren $Ca/P < 1.5$ auftritt. Dieses verbindet sich bei Temperaturen um $> 800°$ C mit „Hydroxylapatit" ($Ca/P > 1.5$) in einer Festkörperreaktion zu β-Tricalciumphosphat („Whitlockit") mit dem molaren $Ca/P \sim 1.5$. β-Tricalciumphosphat ist ein charakteristischer Bestandteil von Knochenmineral, das auf höhere Temperaturen erwärmt wurde, wobei der Anteil recht hohe Werte erreichen kann. Die in den oberen Temperaturniveaus fortschreitende Rekristallisation macht sich im Strukturdiagramm als zunehmende Linienschärfe bemerkbar. (Im wesentlichen nach Newesely und nach Posner)

Für die Erhaltungsaussichten des Leichenbrandes im Boden ist die Rekristallisation von Bedeutung. Dijkstra (1937) hat als erster Leichenbranduntersucher die Arbeit de Jongs (1926) berücksichtigt und aus empirischen Befunden geglühtem Knochenmineral eine geringere Löslichkeit als ungeglühtem zugesprochen (ein Zusammenhang zwischen dem erfolgten Glühen und den Erhaltungsaussichten des Knochens im Boden war bereits Kopfleisch, 1875, aufgefallen). Tatsächlich konnte Amprino (1952) experimentell an geglühten Knochenproben eine wesentlich verminderte Ca-Austauschrate nachweisen, die er auf „Vergrößerung und Fusion von Kristallen" zurückführte (vgl. Kap. 4.2.).
In strittigen Fällen kann aus dem Auftreten von Rekristallisationserscheinungen und der Anwesenheit von Whitlockit ein thermaler Einfluß auf den Knochen erkannt werden. Eine gewisse Zurückhaltung bei der Interpretation ist jedoch angebracht. Ungeglühtes Knochenmineral zeigt bei hinreichender Liegezeit in geeignetem Milieu (feucht, F-haltig) Rekristallisation. Das Anwachsen der Kristalle hat einen Anstieg der Mineralkomponente mit dem molaren Ca/P $>$ 1.5 zur Folge. Daneben kann in Gegenwart von Mg bei Normaltemperaturen in ungeglühtem Knochen β-Tricalciumphosphat entstehen (Hayek und Newesely, 1958). Sowohl Rekristallisation als auch β-Tricalciumphosphat sind daher keine absolut eindeutigen Indikatoren einer erfolgten thermischen Einwirkung.
Die röntgenstrukturanalytische Untersuchung einiger Proben von Combe Capelle hatte freundlicherweise Prof. Aaron S. Posner, New York, übernommen. Zur Untersuchung lagen ihm vor:

1. Kompakta des rechten Humerus, prox. Diaphysendrittel, medial,
2. Rippencorticalis
3. Kompakta des rechten Femur, dist. Metaphyse, dorsal
4. Kompakta des linken Radius, dist. Metaphyse, dorsal
5. Kompakta der linken Tibia, Fac. fibul. in Höhe der Tuberositas

Die Untersuchung ergab, daß in keiner Probe Whitlockit vorliegt. Die Linienschärfe der Diagramme zeigt eine gewisse Vergrößerung der Kristalle an (vgl. Abb. 16 b). Die Vergrößerung kann während der Liegezeit und/oder während der Verbrennung eingetreten sein. Posner (1972) setzt für das Auftreten der β-Tricalciumphosphat-Phase eine Behandlungstemperatur von um 900° C voraus. Sein Resümee für die untersuchten Proben lautet daher: „It is my estimate ... that at no time did the bones reach a temperature of 900° C."

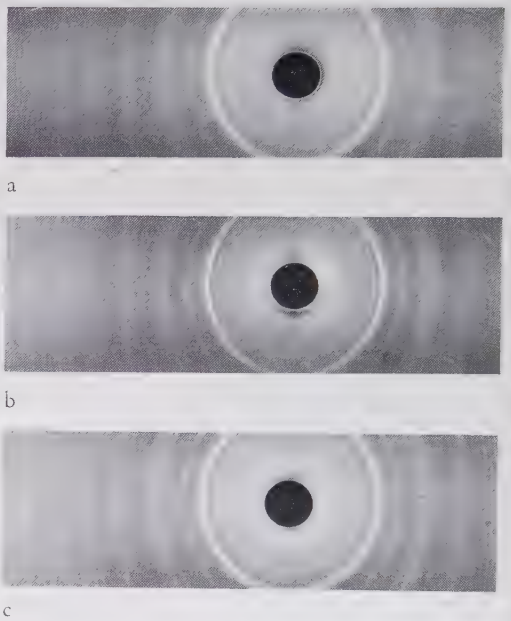


Abb. 16 Röntgenstrukturdiagramme (Debeye-Scherrer-Verfahren). (a) = unverbrannte rezente Femurkompakta; (b) = Kompakta des rechten Femur von Combe Capelle; (c) = Femurkompakta, bronzezeitlicher Leichenbrand (Nr. 59, Gräberfeld Rudow; vgl. Herrmann, 1970). Man beachte die große Linienzahl und Linienschärfe in den Diagrammen der verbrannten Knochen (b, c)

Im Gegensatz zu Combe Capelle weisen prähistorische Leichenbrände einen z. T. erheblichen β-Tricalciumphosphat-Anteil auf. Posner fand z. B. für den bronzezeitlichen Leichenbrand Nr. 59 vom Gräberfeld Berlin-Rudow (Herrmann, 1970) 75 % Whitlockit und 25 % gutkristallisierten Hydroxylapatit (vgl. Abb. 16 c).
Das Fehlen einer β-Tricalciumphosphat-Phase in allen von Combe Capelle untersuchten Proben steht m. E. nicht unbedingt in Widerspruch zum tatsächlich erfolgten Glühen der Skeletelemente. Bis zu seiner Auffindung lag das Skelet ca. 34 000 Jahre unter der Traufkante eines Felsüberhanges.

In dieser feuchten Umgebung konnte eine Rekristallisation erfolgen; daneben ist aus dem reichen Ca-Angebot des Milieus auf adsorptive Bindung von Ca zu schließen. So könnte sich während der Liegezeit der molare Ca/P derart zugunsten Ca/P $>$ 1.5 verschoben haben, daß bei der Verbrennung des Skeletes kein ausreichendes Angebot an Mineral mit dem molaren Ca/P $<$ 1.5 vorlag und entsprechend kein β-Tricalciumphosphat auftreten konnte.

In der Literatur finden sich häufiger Angaben über die bei prähistorischen Leichenverbrennungen erreichten Temperaturen. Malinowski und Porawski (1969) geben für einen brennenden Scheiterhaufen 600° bis 800° C an; mit Hilfe physikalischer Kriterien schließt Kühl (1966) auf ca. 1000° C. Die Mehrzahl der Autoren stützt sich auf gleichartige Verbrennungserscheinungen bei prähistorischen und rezenten Leichenbränden und gibt zwischen 700° und 900° C an (Gejvall, 1947; Lisowski, 1969; van Vark, 1970; Schaefer, 1958; Wells, 1960).

Abgesehen von den bereits genannten Schwierigkeiten kann die XRD mit dem Erfassen von β-Tricalciumphosphat den Nachweis liefern, daß ein Knochen auf mindestens 800° bis 900° C erwärmt wurde (Posner, 1969, 1972). Eine definitiv erreichte Temperatur kann jedoch nicht bestimmt werden, weil das Knochenmineral als Gemisch nach dem Glühen eine Reihe thermischer Umwandlungsprodukte enthält (Newesely, 1967), die probenabhängig sind. Bei prähistorischen Leichenbränden treten zusätzliche Schwierigkeiten auf, weil es während der Liegezeit zu Rückreaktionen der thermischen Umwandlungsprodukte kommen kann. Der Bereich, innerhalb dessen die Verbrennungstemperatur von Combe Capelle anzusetzen ist, kann nicht direkt ermittelt werden. Zwei Umstände sind für eine Schätzung jedoch aufschlußreich. Einmal fanden sich mit Glasschmelze überzogene Skeletelemente (Wirbel, rechter Unterarm, Rippen), so daß Temperaturen um oberhalb 800° C vermutet werden können. Zum anderen korrespondieren die Texturveränderungen der Knochen mit Befunden, die an oberhalb 700° bis 800° C geglühten Knochen gewonnen wurden (vgl. Kap. 4.2.).

4.2. Thermische Veränderungen der Materialeigenschaften und der Knochenstruktur

4.2.1. Härte- und Strukturveränderungen

Combe Capelle unterscheidet sich in der Färbung von einem prähistorischen Leichenbrand in den viel ausgedehnteren sekundären Kohlenstoffverfärbungen (Herrmann, 1972) auf den Extremitätenknochen. Im übrigen ist die Knochenoberfläche hellgrau bzw. gelblichbraun gefärbt. Die Bruchflächen der meisten Skeletelemente sind durchgehend weiß, die Festigkeit der Langknochenkompakta liegt etwas unter der für prähistorische Leichenbrände gewohnten Festigkeit. Leichenbrände gewinnen bei der Lagerung im Erdreich an Festigkeit. Das geglühte Knochenmineral wird aus dem thermisch angeregten in einen niederenergetischen Zustand überführt, ferner spielen Rekristallisationsvorgänge und Ionenaustausch mit dem umgebenden Erdreich eine Rolle (Herrmann, 1970). Der Verbrennungsgrad von Combe Capelle wäre nach der 5-Stufen-Skala von Chochol (1961) als „vollkommen bis kreideartig" zu bezeichnen. Nach bisheriger Anschauung repräsentiert der „kreideartige" Verbrennungsgrad die höchste erreichbare Verbrennungsstufe (z. B. Aner, 1972). Bei meinen Glühversuchen[3] hatte ich

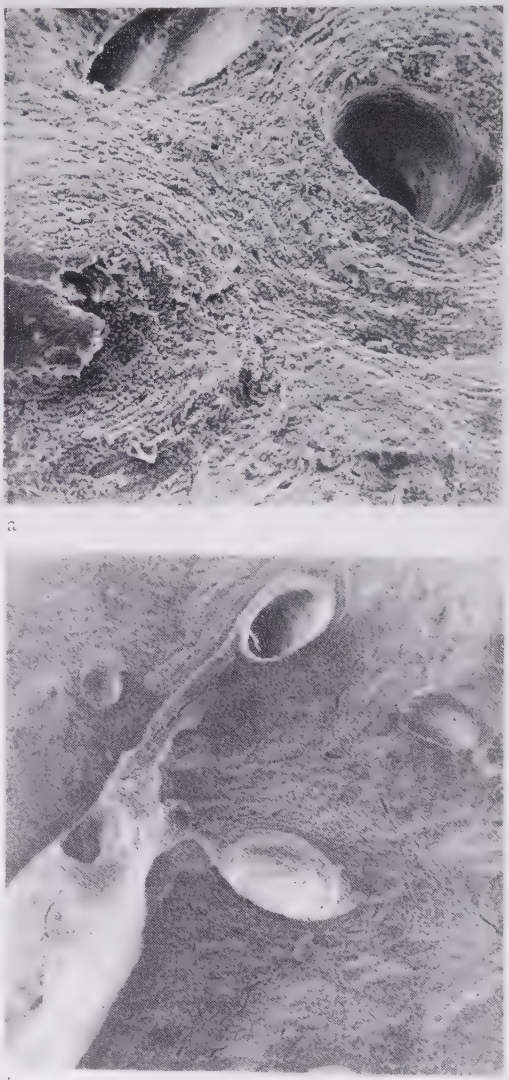
[3] Sämtliche Verbrennungsversuche, die im Rahmen dieser Arbeit erforderlich wurden, sind in einem Elektroofen durchgeführt worden. (Hersteller: Fa. Heraeus, Hanau; Ofentyp: KM 170). Die Brennkammer wird durch allseitig einwirkende Wärmestrahlung beheizt. Ein geringer Luftstrom sorgt für den Abzug von Verbrennungsgasen und des Rauches aus der Brennkammer.

Für die Verbrennungsversuche wurden die Knochen in die kalte Brennkammer gelegt und der Ofen auf die gewünschte Temperatur aufgeheizt. Nach Ablauf der Glühzeit wurde die Wärmezufuhr unterbrochen, und die Knochen erkalteten im Ofen. Als Glühzeit ist entsprechend jene Zeit zu verstehen, über die der Knochen tatsächlich der gewünschten Temperatur ausgesetzt war. Aufheizzeit und Abkühlungszeit sind also nicht berücksichtigt.

Die Proben für die Raster-Elmi-Aufnahmen wurden über jeweils 5 Stunden geglüht, um mögliche Effekte durch langzeitige Wärmeexposition zu erfassen. Es zeigte sich jedoch, daß die empirisch auf 90 min festgesetzte Glühzeit völlig ausreicht, um die für jede Temperaturstufe charakteristischen Wärmeveränderungen im Knochen zu erzeugen. (Nach van Vark, 1970, soll sogar eine 5- bis 10minütige Glühzeit ausreichen).

den Eindruck, daß die Festigkeit des Knochens zwar bis Glühtemperaturen von 700° bis 800° C abnimmt, daß aber bei höheren Temperaturen wieder eine Verfestigung eintritt. Ich habe versucht, diesen Eindruck mit Hilfe einer Druckfestigkeitsuntersuchung zu überprüfen. Hierfür wurden aus der Diaphysenmitte eines Femur (mazeriertes Sammlungspräparat; männlich, matur) Prüfkörper von annähernd 10 mm Höhe, 8 mm Breite und 6 mm Dicke geschnitten. Die Prüfkörper wurden im Ofen in 100° C — Abständen zwischen 100° C und 1000° C/1.5 h behandelt. Die Belastungsprüfung erfolgte auf einer Universalprüfmaschine, wobei die Proben parallel zum Osteonenverlauf belastet wurden. Die unbehandelte Vergleichsprobe zeigte eine Druckfestigkeit von 2674 kp/cm². Demgegenüber war die 100°-Probe etwas fester (3037 kp/cm²). Danach sank die Festigkeit sehr stark ab (300° : 769 kp/cm²) und erreichte bei der 800°-Probe mit 303 kp/cm² ihren Minimalwert. Die Werte für die nachfolgenden Prüfkörper wichen stark voneinander ab (900° : 604 kp/cm²; 1000° : 353 kp/cm²). Wegen Materialmangel war es leider nicht möglich, mehr als zwei Proben je Temperaturstufe zu untersuchen. Trotzdem wird die Abnahme der Kompaktafestigkeit bis gegen 800° C deutlich, ob sie danach wieder ansteigt, geht aus dem Versuch nicht sicher hervor, ist aber wahrscheinlich. Amprino (1958, 1961) und Rosate (1963) haben die Änderung der Härte im Microbereich thermisch behandelter Knochen untersucht. Sie fanden einen Anstieg der Härte bis gegen 120° C, danach einen Abfall. Das Festigkeitsminimum lag bei 400° C; zwischen 500° und 600° C stieg die Härte sprunghaft an und erreichte bei 800° C sogar einen Betrag, der mehr als das Doppelte über dem Ausgangswert lag. Amprino und Rosate führten ihre Untersuchungen an einzelnen Lamellen durch. Hieraus könnte sich die abweichende Lage des Minimalwertes gegenüber meinem Versuch erklären. Die Untersuchungen Amprinos und Rosates scheinen die Vermutung zu stützen, daß die Kompaktafestigkeit nach Erreichen eines bestimmten Temperaturniveaus nicht weiter abnimmt, sondern mit steigender Expositionstemperatur wieder zunimmt. Ein „Überbrennen" des Knochens durch sehr hohe Temperaturen wäre demnach nicht möglich.

Besonders aufschlußreich ist das mikroskopische Bild thermisch behandelter Knochen. Hierfür wurden Kompaktastücke einer Femurdiaphyse im Ofen in 100° C-Abständen zwischen 100° und 1000° C/5 h behandelt[3]. Nach dem Erkalten wurden die Stücke senkrecht zum Osteonenverlauf gebrochen und die Bruchflächen im Raster-Elektronenmikroskop untersucht. Bruchflächen wurden Schnittpräparaten vorgezogen, da besonderer Wert



a

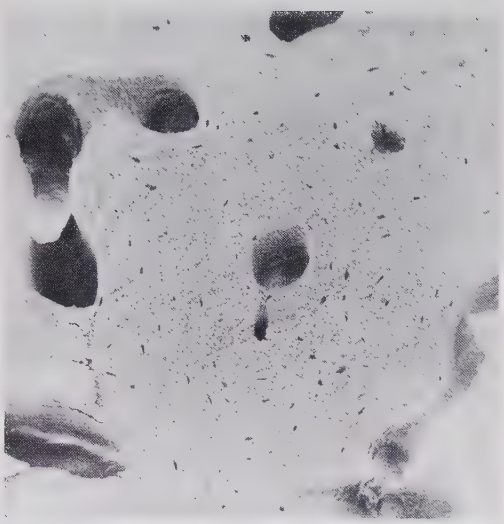
b

Abb. 17 Querbruch einer Femurkompakta, rezentes Anatomiematerial. (a) = Glühbedingungen: 100° C/5 h; 160mal vergr.; (b) = Glühbedingungen: 700° C/5; 150mal vergr.

auf die Oberflächenstruktur gelegt wurde (vgl. Boyde und Hobdell, 1969; Boyde, 1972).

Die ersten Temperaturstufen zeigen gegenüber der unbehandelten Vergleichsprobe praktisch keine Unterschiede. Man erhält das bekannte Bild des lamellären Osteonenaufbaus um den Haversschen Kanal (Boyde, 1972), es werden lediglich die Konturen etwas stärker betont (Abb. 17 a). Zwischen 300° und 600° C werden die Festigkeitsunterschiede zwischen den wechselnd organisch-anorganischen Schichten nivelliert, so daß die Bruchflächen weniger stark geklüftet erscheinen. Mit der 700°-Stufe ist in der Versuchsserie der vollständige Verlust der Matrix erreicht (Abb. 17 b). Das Gefüge befindet sich in einer Übergangsphase, da die Pyrolyse noch nicht quantitativ ist. Mit dem „kreideartigen" Verbrennungsgrad ist hier das Minimum der Kompaktafestigkeit innerhalb der Versuchsserie erreicht. Infolge der thermischen Umwandlungsreaktionen oberhalb der 700°-Stufe kommt es zu einer Umordnung des kristallinen Materials, die Lamellen sind nur noch z. T. erhalten und schließlich ganz verschwunden (Abb. 18 a). Die Osteone können nur noch annähernd über die deutlich sichtbaren Osteozytenspalten ausgemacht werden. Prähistorische Leichenbrände zeigen das gleiche Bild (Abb. 18 b). Die thermisch bedingten Veränderungen werden am deutlichsten sichtbar, wenn dem ursprünglich faserigem Lamellenaufbau (Abb. 19 a) das homogene Gefüge nach anhaltendem Temperatureinfluß gegenübergestellt wird (Abb. 19 b). Ähnliche Bilder ergeben sich, wenn die Bruchrichtung parallel zur Oberfläche und Längsachse der Diaphyse gelegt wird. Der im Längsbruch schalenförmig anmutende Osteonenaufbau (Abb. 20 a) der unbehandelten Vergleichsprobe ist beim hochgeglühten Versuchsobjekt (Abb. 20 b) wie beim prähistorischen Leichenbrand nicht mehr vorhanden (Abb. 20 c).

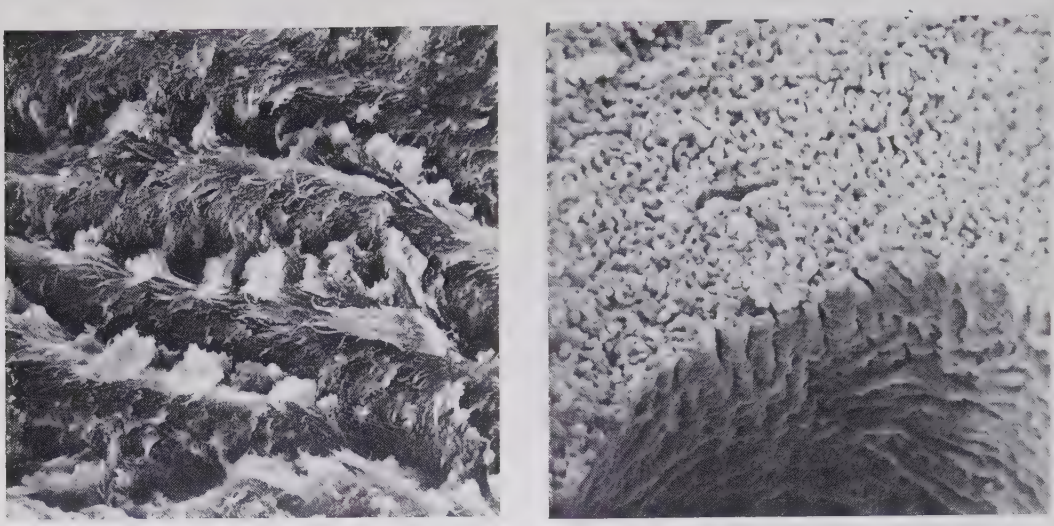
Amprino hat geglühten Knochen wegen seiner großen Härte mit gebranntem Ziegelstein verglichen. Dieses Bild charakterisiert die tatsächlichen Verhältnisse außerordentlich treffend. Aufgrund von XRD-Untersuchungen wird seit langem vermutet, daß unter Einwirkung großer Wärme eine Vergrößerung und Fusion von Apatitkristallen erfolge. Die Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahmen bestätigen diese Vermutung. Durch die Wärmeeinwirkung kommt es zu teilweisen Schmelzen und Zusammenschluß von Apatitkristallen. Knochenmineral sintert bei hohen Temperaturen. Amprinos Ansicht (1958), daß „die äußere Form und die mikroskopische



a

b

Abb. 18 Querbruch einer Femurkompakta. (a) = rezentes Anatomiematerial; Glühbedingungen: 1000° C/5 h; 150mal vergr. (nach Herrmann, 1972, Naturwiss. Rundschau 25 [11], Titelbild); (b) = eisenzeitlicher Leichenbrand (F 41, Gräberfeld Lengerich-Wechte; vgl. Wilhelmi, 1971); 150-mal vergr.



a b

Abb. 19 Strukturunterschiede am Querbruch einer ungeglühten (a; 1600mal vergr.) und einer geglühten (b; 1000° C/5 h; 1500mal vergr.) rezenten Femurkompakta

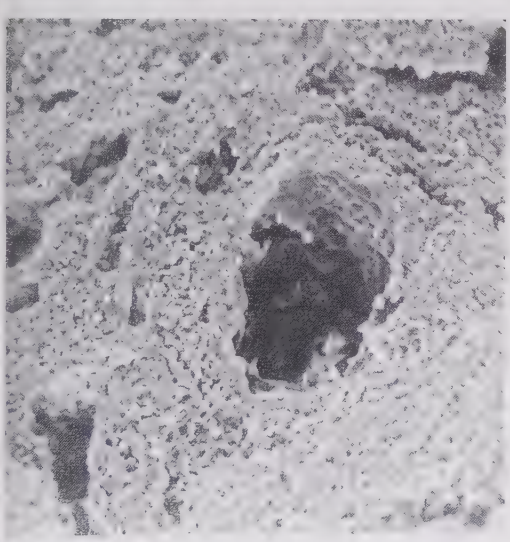
a b c

Abb. 20 Längsbrüche der Femurkompakta. (a) = ungeglühtes rezentes Objekt, 82mal vergr.; (b) = geglühtes rezentes Objekt (1000° C/5 h), 78mal vergr.; (c) = bronzezeitlicher Leichenbrand (Nr. 36, Gräberfeld Rudow; vgl. Herrmann, 1970), 78mal vergr. Man beachte das Fehlen der Lamellenstruktur bei (b) und (c)

Struktur von Knochenproben auch nach der Verbrennung erhalten" bleibe, bedarf einer entsprechenden Korrektur. Wohlgeordnete Feinstrukturen waren in der Versuchsserie nur bis zur 600°-Stufe erhalten (vgl. hierzu Abb. 28).

Allgemein zeigen die Raster-Elmi-Aufnahmen der Langknochen von Combe Capelle einen erheblichen Dekompositionsgrad der Kompakta (Abb. 21). Gelöste Salze sind durch das Hohlraumsystem des Knochens und Fissuren eingedrungen und ausgeschieden; sie überlagern die Knochenstruktur z. T. erheblich. Dennoch wird deutlich, daß die Veränderungen der Kompaktastruktur qualitativ dem Umwandlungsgrad entsprechen, der innerhalb der Versuchsserie bei den höchsten Temperaturstufen auftritt. Die Osteone haben ihre Lamellenstruktur eingebüßt, das Gefüge ist homogen.

a



b

Abb. 21 Querbrüche der Kompakta des rechten Femur von Combe Capelle. (a) = 130mal vergr.; (b) = 720mal vergr.; man beachte die Dekompositionserscheinungen am unteren Bildrand bei (a). Die Osteone zeigen keine Lamellenstruktur

Die Veränderungen der Knochenstruktur infolge anhaltendem Wärmeeinflusses wirken sich auch auf das polarisationsoptische Verhalten aus. Im Schliff zeigen Osteone unbehandelter Knochen unter polarisiertem Licht bei gekreuzten Nicols Brewster-Kreuze (Wilkens, 1966; Yamamoto, 1970; u. a.), die sogar noch an mehrtausendjährigen, stark dekompostierten Knochen beobachtet werden können (Berg und Specht, 1958). Nach Catel und Kern (1972) entstehen die Brewster-Kreuze durch einen Summationseffekt des zentrisch-faserigen Osteonenaufbaus und seines anisotropen Gefüges. Die Raster-Elmi-Aufnahmen veranschaulichen, daß die thermischen Veränderungen in eine homogene Osteonentextur münden. Schliffbilder der Versuchsserie zeigen die Brewster-Kreuze bis zur 400°-Stufe deutlich, dagegen kaum bei der 500°- und 600°-Stufe. Die zunehmende Isotropisierung oberhalb 600° C hat zur Folge, daß im Polarisationsbild keine Brewster-Kreuze erscheinen. Entsprechend verhalten sich auch Schliffbilder prähistorischer Leichenbrände wie Schliffe der Diaphysenkompakta beider Humeri und Femora von Combe Capelle isotrop. Die polarisationsoptische Untersuchung von Knochenschliffen ist somit eine einfache und zuverlässige Methode, eine mögliche Wärmebehandlung des Knochens nachzuweisen.

4.2.2. Hitzerisse

Infolge der Wärmeeinwirkung treten in der Langknochenkompakta Risse und Brüche verschiedener Qualität auf: (a) Trennungsbrüche, die quer und parallel zur Diaphysenlängsachse verlaufen, und (b) parabolisch verlaufende Risse, deren Symmetrieachsen immer parallel zur Diaphysenlängsachse liegen. Die Parabeln können als Kurvenscharen auftreten und mit der geöffneten Seite gleichsinnig oder gegeneinander orientiert sein.

Man kann sich die Trennungsbrüche mit dem linearen bzw. kubischen Ausdehnungskoeffizienten verbunden denken, dessen Größe von den Materialeigenschaften abhängt, die ihrerseits eine Funktion des Individualalters und des physiologischen Status sind (Knese, 1970 a; Vinz, 1970 a-c). Zusätzlich mögen die Verlaufsrichtungen der Osteonenzüge von Bedeutung sein. Die parabelförmigen Risse und Frakturen sind in ihrer Entstehung ungeklärt. Allgemein fehlen in der Leichenbrandliteratur Erklärungsversuche zur Genese von Hitzerissen und -frakturen. Gelegentliche Hinweise betonen aber alle die vermutlich engen Beziehungen zwischen Knochenstruktur und Hitzerißmuster (Maschka, 1852; Hoffmann, 1875; Lisowski, 1968; Dokladal, 1969; Herrmann, 1971).

Eine solche Beziehung ist besonders für die parabolisch-elliptischen Hitzerisse wahrscheinlich (Abb. 22). Das abgebildete Beispiel zeigt im Verlaufsmuster der Risse eine außerordentliche Ähnlichkeit mit Spannungstrajektorien (Evans und Goff, 1957; Kummer, 1959, 1962; Pauwels, 1965). Es läge deshalb nahe, elliptische Hitzerisse unter biomechanischen Aspekten zu betrachten. Da derartige Risse in meinen Glühversuchen mit mazerierten Knochen in keinem Fall auftraten, scheint außerdem eine Beziehung zur Weichteilbedeckung zu bestehen.

Abb. 22 Elliptische Hitzerisse. Oberschenkelfragment eines eisenzeitlichen Leichenbrandes (Nr. 379, Gräberfeld Lübars-Mühlenberg; vgl. Kernd'l, 1971)

In diesem Zusammenhang sind die Beobachtungen amerikanischer Leichenbrand-Untersucher interessant. Nach Webb und Snow (1945) soll aus dem Hitzerißmuster geschlossen werden können, ob die Knochen zum Zeitpunkt der Verbrennung eine Weichteilumhüllung hatten oder nicht: „It appears that when bones in a dry condition are incinerated, besides being calcined, they show cracking or ‚checking' ... like the patina of age on an oil painting." (zit. nach Baby und Binford). Baby (1954) und Binford (1963) diskutierten diesen Aspekt erneut, und Binford kam zu dem Schluß: „Dry bones tend to show predominantly longitudinal fractures, an absence of warping, and superficial angular cracking; cremations of green bone or bone with the flesh attached show deep transverse fractures, frequently curved, much warping, and the occasional presence of endosteum." Diese Beobachtungen stimmen mit eigenen überein. Allein daraus, daß elliptische Hitzerisse wie auch Torsion und übermäßige Deformation der Fragmente fehlen, könnte für Combe Capelle im Streitfall der Schluß gezogen werden, das Skelet sei wahrscheinlich trocken und ohne Weichteilbedeckung verbrannt worden.

An den Skeletelementen von Combe Capelle treten nur Trennungsbrüche auf, die teilweise durch alte Frakturen und Fissuren vorgegeben waren. An den Langknochen, namentlich den Femora und Tibiae sind Risse in Diaphysenlängsrichtung vorhanden, also parallel den Spaltlinien. Elliptische Hitzerisse fehlen völlig. Gute Übereinstimmung mit dem Bild eines klassischen Leichenbrandes zeigt das Fragment des rechten Darmbeines, an dem „weathering cracks" (Tappen, 1969) zu beobachten sind. Tappen konnte die Beziehung derartiger Verwitterungserscheinungen (Schrumpfung durch Austrocknung) zum Spaltlinienverlauf zeigen. So wird verständlich, daß derartige Risse sowohl an verbrannten wie unverbrannten Objekten auftreten. Die Färbung und Bruchlinien der Arcus und Kompaktazylinder der Wirbel entsprechen dem Bild eines Leichenbrandes, es fehlen aber die bei Leichenbränden oft vorhandenen konzentrischen Bruchlinien der cranialen und caudalen Wirbelkörperflächen. Bei Leichenbränden sind die Gelenkköpfe der langen Knochen sowie die Articulationsflächen von Talus und Calcaneus fast immer durch Bruchlinien polygonal gefeldert[4], bei Combe Capelle ist dies nur an einigen umschriebenen Stellen der Gelenkflächen zu beobachten.

Wärmeinduzierte Querfrakturen und Querrisse weisen bei Leichenbränden zuweilen eine leichte Konkavität ihrer Bruchflächen auf. Die Frakturen und Risse bei Combe Capelle zeigen dieses Merkmal nicht. Transversale Frakturen bei Combe Capelle sind wahrscheinlich eher auf eine mechanische Zerklei-

[4] Ich möchte für diese Hitzerißmuster, die auch häufig an Calottenfragmenten auftreten, in Anlehnung an die Beobachtung von Webb und Snow den Terminus „Craquelè" vorschlagen.

nerung der Skeletelemente zurückzuführen („innerhalb des Raumes stürzte alles brennend übereinander", Heberer). Wenn Combe Capelle nicht in dem Maße systematisch verteilte Bruchmuster aufweist, wie ein klassischer Leichenbrand, so dürfen als Gründe dafür wohl angenommen werden:
1. eine überwiegend mechanische Zerkleinerung der Skeletelemente, 2. ein fortgeschrittener Petrefizierungsgrad, dessen Auswirkung auf das Verhalten von Knochen unter Wärmeeinfluß völlig unbekannt ist, und schließlich 3. die Verbrennung luftgetrockneter Skeletelemente ohne Weichteilbedeckung.

4.3. Die Schrumpfung

4.3.1. Ursachen der Schrumpfung

Unter Einwirkung höherer Temperaturen verliert der Knochen an Volumen. Diese Schrumpfung ist für die Beurteilung geglühter Skeletelemente von besonderer Bedeutung, weil sie zusammen mit wärmeinduzierten Deformationen sämtliche morphologischen Charaktere beeinflußt.
Bei der Verbrennung wird die organische Knochenkomponente denaturiert bzw. verascht und dem Knochen Wasser entzogen. Schließlich kommt es zu thermischen Umwandlungsreaktionen des Knochenminerals. Zunächst soll geklärt werden, welchen Einfluß der Wasser- und Matrixverlust auf die Schrumpfung haben. Das im frischen Knochen enthaltene Wasser ist hauptsächlich an die organische Matrix, zu einem Teil auch an das Knochenmineral (Robinson und Elliott, 1957) gebunden. Da man im Glühversuch nicht zwischen organisch gebundenem Wasser einerseits und an das Mineral gebundenem Wasser andererseits unterscheiden kann, werden die Einflüsse des Wasserverlustes von Matrix und Mineral sowie des Verlustes der organischen Komponente gemeinsam behandelt.
Für den hierzu notwendigen Versuch wurden die mittleren Teile von Humerusdiaphysen halbiert, die eine Hälfte leichenfrisch und die andere Hälfte mazeriert[5] der Wärme ausgesetzt. Die Kontrolle ergab, daß das Mazerationsverfahren keine meßbare Größenveränderung der Knochenproben nach sich zog. Die Knochenabschnitte wurden zunächst auf 110° C/10 h erwärmt und ihnen damit das organisch gebundene Wasser entzogen. Zwar geht bei dieser Temperatur bereits ein Teil des ans Mineral gebundenen Wassers mit ab, der weitaus größere Anteil des adsorptiv ans Mineral gebundenen Wassers wurde jedoch erst bei 250° C/10 h ausgetrieben. (Robinson und Elliott, 1957; Burnett und Zenewitz, 1958). Später wurden die Objekte bei 850° C/1.5 h geglüht. Die Versuche erbrachten folgende Ergebnisse:
1. Die thermische Behandlung leichenfrischer und mazerierter Proben hatte keine unterschiedlichen Schrumpfungsbeträge zur Folge. Dies gilt für alle drei berücksichtigten Temperaturstufen (110°, 250°, 850° C).
Das Ergebnis stimmt mit der Erwartung überein. Lerch (1950), Klapproth (1954) und Verzar und Zs.-Nagy (1970) haben die Wärmeschrumpfung des Kollagens untersucht, das zu über 90 % an der organischen Knochenkomponente beteiligt ist. Sie fanden die Wärmeschrumpfung des Kollagens irreversibel abgeschlossen zwischen 60 und 80° C. Ein innerhalb dieses Temperaturbereiches erwärmter Knochen zeigt nur sehr kleine Größenverminderungen (s. u.).
2. Nach Erwärmung auf die jeweiligen Temperaturstufen wurden durchschnittlich folgende Schrumpfungsbeträge (in % des Ausgangsmaßes) gefunden:

	0 bis 110–250° C	110–250° bis 850° C	0 bis 850° C
Diaphyse längs	0.9 %	4.8 %	5.7 %
Diaphyse quer	2.5 %	12.4 %	14.9 %

(Da nach der anfänglichen Schrumpfung bis 110° C bei der Erwärmung auf 250° C keine weitere Schrumpfung auftrat, habe ich beide Temperaturstufen in der Tabelle zusammengefaßt.)
Die im Versuch aufgetretenen Größenverminderungen bei 110/250° C liegen etwas über den Werten, die an Sammlungspräparaten durch Austrocknung auftreten. Martin (1928) gibt für einige Extremitätenknochen Werte zwischen 0.7 und 2.6 mm an; danach vermin-

[5] Die Knochenstücke wurden über 4 Stunden in Wasser gekocht und für eine Woche in Formamid eingelegt. Anschließend wurden die Proben 2mal je eine Stunde in Natronlauge gekocht, eine Stunde in 30%igem H_2O_2 mit Ultraschall behandelt und für 24 Stunden in 30%iges H_2O_2 überführt. Danach wurden die Stücke 24 Stunden lang gewässert.

dert sich die größte Länge dieser Knochen bei Zimmertemperatur um etwa 0.5 %.

Der Versuch zeigt, daß nur etwa 15 bis 20 % des gesamten Schrumpfungsbetrages eines bei hohen Temperaturen geglühten Knochens durch die Denaturierung bzw. Veraschung der organischen Matrix und den Wasserverlust bedingt sind. Der weitaus größte Anteil am gesamten Schrumpfungsbetrag trat zwischen 250° und 850° C auf. Nach van Vark (1970) kann dieser Temperaturbereich auf 700° bis 800° C eingeengt werden. Innerhalb dieser Temperaturstufe kommt es zu den unter 4.2. beschriebenen Veränderungen der Knochentextur. Die teilweise Verschmelzung der Apatitkristalle, die Sinterung[6], ist demnach die Hauptursache der Schrumpfung.

Ferner zeigt der Versuch, daß es ohne Bedeutung ist, ob für einen Schrumpfungsversuch frische oder luftgetrocknete, mazerierte Sammlungspräparate verwendet werden. Sammlungspräparate sind gegenüber frischen Knochen größenordnungsmäßig um bis 1 % geschrumpft.

4.3.2. Das Ausmaß der Schrumpfung

Experimentell gewonnene Angaben über die Wärmeschrumpfung von Knochen finden sich nur vereinzelt in der Literatur und lassen gegenwärtig keine einheitliche Aussage zu. Dijkstra (1938) verbrannte frische Knochen auf einem Scheiterhaufen und fand Dimensionsverminderungen um 0.7 und 1.0 %. Eine Femurdiaphyse war im Durchmesser um 0.9 % geschrumpft.

Anderson (1957) verbrannte Schweinefemora in einem Gebläsebrenner-Ofen. Die größte Länge der Femora verkürzte sich im Mittel um 5 %. Schaefer (1958) bezieht sich auf ein von Anderson verbranntes proximales Ende eines menschlichen Femur und meint, die Schrumpfung könnte bei der Auswertung unberücksichtigt bleiben, da sie sich in Größenordnungen von 1 bis 2 mm bewegte. Chr. Müller (1958/59) glühte Radiusköpfchen im Elektroofen. Die Köpfchendurchmesser verringerten sich in Abhängigkeit von der Glühzeit um 7.2 bis 15.3 %. Über der offenen Gasflamme schrumpften die Durchmesser unabhängig von der Glühzeit um nur 1.4 %.

[6] Der Begriff der „Sinterung" wurde vermutlich erstmals von Schrader (1938) mit verbranntem Knochen in Verbindung gebracht.

Kraul (1963) verbrannte 25 frische Femurköpfe auf einem offenen Holzfeuer und fand in nur einem Falle eine meßbare Größenabnahme, die er zudem auf einen Meßfehler zurückführte. Malinowski und Porawski (1969) verbrannten zahlreiche Skeletelemente im Gaskrematorium. Dabei verminderte sich die größte Länge durchschnittlich um folgende Beträge: Radius um 9 mm, Ulna um 6 mm, Humerus um 10.5 mm, Femur um 12.5 mm, Tibia um 8.2 mm. Der Durchmesser des Cap. radii nahm um 2.2 mm ab, der Durchmesser des Cap. humeri um 2.6 mm und der Durchmesser des Cap. femoris um 3.2 mm. Leider fehlen Prozentangaben. Van Vark (1970) glühte Knochenstücke (20 x 5 x 5 mm) aus Kompakta der Femurdiaphyse, Patellaspongiosa und dem Corpus mandibulae sowohl im Elektro- als auch im Gasofen. Die Schrumpfungsbeträge der verschieden geglühten Proben wiesen keine Unterschiede auf. Das Schrumpfungsmaximum war bei 800° C erreicht und betrug für die Länge der Stücke durchschnittlich 11.56 % (Femur), 14.14 % (Patella), 16.42 % (Mandibula). Dokladal (1971) zerteilte fünf Anatomieleichen und verbrannte jeweils eine Hälfte im Krematorium (600—1000° C), während die andere Hälfte mazeriert wurde. Die Schrumpfungsbeträge ermittelte er durch Vergleich der mazerierten mit den verbrannten Skeletelementen. Der transversale Durchmesser der Femurdiaphyse verringerte sich um 10 %, der sagitale um 15 %. Andere Durchmesser und auch Umfangsmaße waren um ähnliche Beträge geschrumpft. Allgemein gibt Dokladal eine Schrumpfung von 5 bis 12 % an. Eigene Versuche an 5 cm langen Diaphysenabschnitten frischer Humeri und Femora, die im Elektroofen bei 850° C/1.5 h geglüht wurden[3] erbrachten Schrumpfungen der Längsmaße zwischen 6 und 12 % im mittleren Diaphysenbereich, gegen die Epiphysen war die Schrumpfung größer und erreichte Werte bis zu 20 %. Die transversalen und sagittalen Durchmesser verringerten sich zwischen 12 und 25 %, wobei die hohen Werte gleichfalls in Epiphysennähe auftraten. Die hier zusammengestellten Ergebnisse lassen sich nicht zu einer einheitlichen Aussage vereinen, weil sie auf unterschiedlichen methodischen Wegen gewonnen wurden. Eines scheint jedoch angedeutet, wurden die Knochen experimentell über offenem Feuer ver-

brannt, so schrumpften sie geringer als bei der Verbrennung im Elektro- oder Gasofen. In der Literatur wird deshalb angeführt, die Schrumpfung prähistorischer Leichenbrände sei wegen der Verbrennung auf dem offenen Feuer des Scheiterhaufens als gering anzusehen und ohne nennenswerte Bedeutung für die Beurteilung der Skelete. Die experimentell in Öfen ermittelten Werte werden als zu hoch zurückgewiesen. Diese Auffassung trifft nicht zu. Wie bereits in 4.3.1. gezeigt, erreicht die Schrumpfung ihren maximalen und endgültigen Betrag bei Temperaturen oberhalb 700 bis 800° C. Bei diesen Temperaturen kommt es zur Sinterung des Knochenminerals (vgl. Kap. 4.2.). Entscheidend für den Schrumpfungsbetrag ist die Höhe und Dauer der auf den Knochen einwirkenden Temperatur. Strukturvergleiche zwischen experimentell geglühten Proben und prähistorischen Leichenbränden zeigen keine Unterschiede, hier wie dort ist die Sinterung umfassend (Abb. 18, 20). Da auch XRD-Untersuchungen belegen, daß prähistorische Leichenbrände unter vergleichbaren thermischen Bedingungen geglüht wurden wie rezente Kontrollobjekte, müssen prähistorische Leichenbrände vergleichbar hohe Schrumpfungsbeträge aufweisen. Meine Kontrollversuche zeigten, daß die Erwärmung „vollkommen" verbrannter Fragmente prähistorischer Leichenbrände auf 1000° C keine Schrumpfung zur Folge hatte. Umgekehrt konnte ich beobachten, daß „unvollkommen" verbrannte bronzezeitliche Leichenbrandreste durchschnittlich noch um 3 % schrumpften, wenn sie im Ofen bei 850° C geglüht wurden.

In diesem Zusammenhang sind die Versuche von F. Mayer (1898) aufschlußreich: „Wie schlecht der Muskel die Wärme leitet, ersieht man aus meinen Experimenten, da selbst bei Einwirkung höherer Hitzegrade, wie + 1500 bis 2000° C, auf die äußere Seite des Oberarmes in einer Tiefe von 1/2 cm im Deltoides erst nach 25 min eine Temperatur von ± 55° C nachzuweisen war." (Bei diesem Versuch wurde der Oberarm mit einer Lötlampe lokal erwärmt.) Bei einer derart angsamen Durchwärmung des Leichnams müssen bei prähistorischen Leichenverbrennungen recht hohe Temperaturen über einen längeren Zeitraum erreicht worden sein, weil sonst die Pyrolyse und die Sinterung des Knochenminerals nicht umfassend wären. Aber auch für rezente Leichenverbrennungen in Krematorien ist der Versuch Mayers von Bedeutung, sofern Schrumpfungsbeträge moderner Leichenbrände als Vergleichswerte in die Literatur eingebracht werden. (Wells, 1960; Gejvall, 1963; u. a.)

Die Verbrennungsöfen des städtischen Krematoriums Berlin-Wedding sind mit Thermoschreibern ausgerüstet, über die eine ständige Aufzeichnung der Temperatur in den Brennkammern erfolgt. Zwar sind die absoluten Betriebstemperaturen vom jeweiligen Ofensystem abhängig, grundsätzlich weisen die Verbrennungsöfen jedoch ähnliche Temperaturkurven auf. Aus den Aufzeichnungen ist ersichtlich, daß hohe Temperaturen (850 bis 900° C) nur in den ersten 30 bis 40 min der insgesamt 90 bis 120 min dauernden Einäscherung erreicht werden. Nach den Versuchen Mayers ist aber eine beträchtliche Zeit nötig, bis in der Muskulatur eine Temperaturanstieg nachzuweisen ist. Bei meinen Glühversuchen zeigte sich, daß die Knochen erst bei Temperaturen oberhalb 700° C eine weiße Färbung annehmen und somit frei von organischem Kohlenstoff sind. Fast jeder moderne Krematoriumsbrand, den ich bisher gesehen habe, zeigte ausgedehnte primäre Kohlenstoffverfärbungen, die Anzeichen einer unvollständigen Verbrennung der organischen Knochenkomponente sind (Herrmann, 1972). Auf den Knochen direkt wirksam sind demnach meist Temperaturen, die 700° C kaum übersteigen. Mir erscheint es deshalb fraglich, ob ein durchschnittlicher Krematoriumsbrand eine maximale Schrumpfung zeigt.

4.3.3. Die Bedeutung der stofflichen Zusammensetzung und die Abhängigkeit des Schrumpfungsbetrages von der Wandstärke

Während die organische Knochenkomponente vom Ende des ersten Lebensjahres an zurückgeht und damit der Aschengehalt des Knochens steigt (Vinz, 1970 a), nimmt der Mineralgehalt pro Volumen vom 3. Lebensjahrzehnt an ab (Heuck, 1970). Errechnet man aus den Angaben bei Dickerson (1962) und Vinz (1970 b) den molaren Ca/P, zeigt sich, daß er mit zunehmendem Alter leicht ansteigt. Demnach ändert sich auch die chemische Zusammensetzung des Minerals. Untersuchungen an tierischen Knochen haben dies bestätigt, wenngleich die altersabhängigen Veränderungen der Mineralzusammenset-

zung bei den untersuchten Tierarten deutlicher zutage traten als beim Menschen (Weidmann und Rogers, 1958; Widdowson und Dickerson, 1964). Die mittlere Kristallgröße des Minerals nimmt ebenfalls während des Lebens zu (Robinson und Watson, 1955; Cameron, 1963). Termine und Posner (1966) sowie Harper und Posner (1966) wiesen an Ratten nach, daß der Anteil der amorphen Mineralphase innerhalb des ersten Lebensmonats von ca. 70 % auf ca. 36 % abfällt und dann konstant bleibt. Nach Auffassung der Autoren wirkt sich dies auf die physikalischen Eigenschaften des Knochens aus. Auch die organischen Bestandteile unterliegen altersabhängigen Veränderungen. Der Wassergehalt (Robinson und Elliott, 1957; Vinz, 1970 a) und der N-Gehalt (Dickerson, 1962; Vinz, 1970 b) nehmen mit steigendem Alter ab. Der Durchmesser der Kollagenfasern nimmt mit dem Alter zu (Knese, 1970 b; Robinson und Watson, 1955). Schließlich ist auf die erheblichen histologischen Veränderungen des Knochengewebes im Laufe des Lebens hinzuweisen. Vinz (1970 a—c) hat ausführlich die Änderungen der Materialeigenschaften und der stofflichen Zusammensetzung des kompakten Knochengewebes im Laufe der Altersentwicklung untersucht. Er faßt seine Befunde wie folgt zusammen: „Das kompakte Knochengewebe zeichnet sich durch besondere Festigkeits-, Elastizitäts-, Dehnungs- und Härteeigenschaften aus. Diese Eigenschaften ändern sich sämtlich im Laufe des Lebens, und zwar in Abhängigkeit von strukturellen und stofflichen Umwandlungen der Knochensubstanz. Die Änderung einer mechanischen Größe kann überwiegend durch die Änderung der Knochenstruktur, wie im Falle der Reißfestigkeit, oder überwiegend durch die Verschiebung der stofflichen Zusammensetzung, wie im Falle der Knochenhärte bedingt sein. Die Bedeutung der einzelnen Strukturelemente für die mechanischen Eigenschaften des Knochens ist mit Ausnahme der Faserstrukturen zur Zeit noch weitgehend ungeklärt. Dies gilt besonders für die Ultrastruktur." (Vinz, 1970 b) Die Materialeigenschaften werden auch durch die Diät beeinflußt. So sind Spurenelemente sehr wahrscheinlich für die gleichmäßige Ausbildung der Apatitkristalle von Bedeutung (Kruse et al., 1934; Posner et al., 1963). Darüberhinaus beeinflussen zahlreiche Vitamine und Hormone den Mineralstoffwechsel und die Ausbildung der organischen Knochenkomponente. (Dulce, 1970). Geschlechtsspezifische Eigenschaften des Knochens konnten bisher histologisch nicht nachgewiesen werden (Enlow, 1966). Über den Mineralgehalt der Kompakta in Abhängigkeit vom Geschlecht wurden bisher nur wenige Angaben veröffentlicht. Nach Trotter und Peterson (1962, 1970) scheinen Knochen von Frauen einen etwas geringeren Aschengehalt zu haben. Mayo (1961) sowie Meema et al. (1964) fanden bei Frauen einen etwas höheren Mineralgehalt pro Volumen bei gleichzeitig geringerer Kompaktadicke. Schließlich ist die mechanische Beanspruchung für die Ausbildung der Skeletelemente von Bedeutung (Bassett, 1965; u. a.).

Wie aus dieser sehr kurzen Übersicht hervorgeht, beeinflussen zahlreiche Faktoren die stoffliche Zusammensetzung und die Materialeigenschaften des Knochens. Es ist im Rahmen dieser Arbeit unmöglich, die Bedeutung dieser Faktoren für das Verhalten des Knochens unter höheren Temperaturen zu erörtern.

Aus der Fülle anstehender Probleme habe ich eines herausgegriffen, von dem ich glaube, daß ihm besondere Bedeutung zukommt: die Abhängigkeit des Schrumpfungsbetrages von der Wandstärke des kompakten Knochens. Untersucht wurden die Diaphysen des rechten Femur eines männlichen Individuums (45 Jahre) und des linken Femur eines weiblichen (38 Jahre). Es handelte sich um mazerierte und entfettete Objekte von „knochengesunden" Individuen (Sektionsmaterial). Die obere Begrenzungsebene der Diaphyse wurde 1 cm unterhalb des Troch. minor angenommen, die untere 2 cm oberhalb der Lin. intercondylaris. Die Diaphyse des männlichen Femur war um 2 cm länger als die weiblichen. Für die röntgenologische Bestimmung der medialen und lateralen Kompaktadicke nach Virtama und Helelä (1969) wurden die Diaphysenmitten auf gleiche Höhe gebracht, so daß die Meßebenen an beiden Femora sich einander entsprachen. Die Diaphysen wurden dann in 6 annähernd gleich lange Abschnitte zerlegt und bei 850° C/1.5 h geglüht. Die Schrumpfungsbeträge wurden durch direktes Ausmessen der medialen und lateralen Kompaktadicke an den Abschnittsenden vor und nach dem Glühen ermittelt.

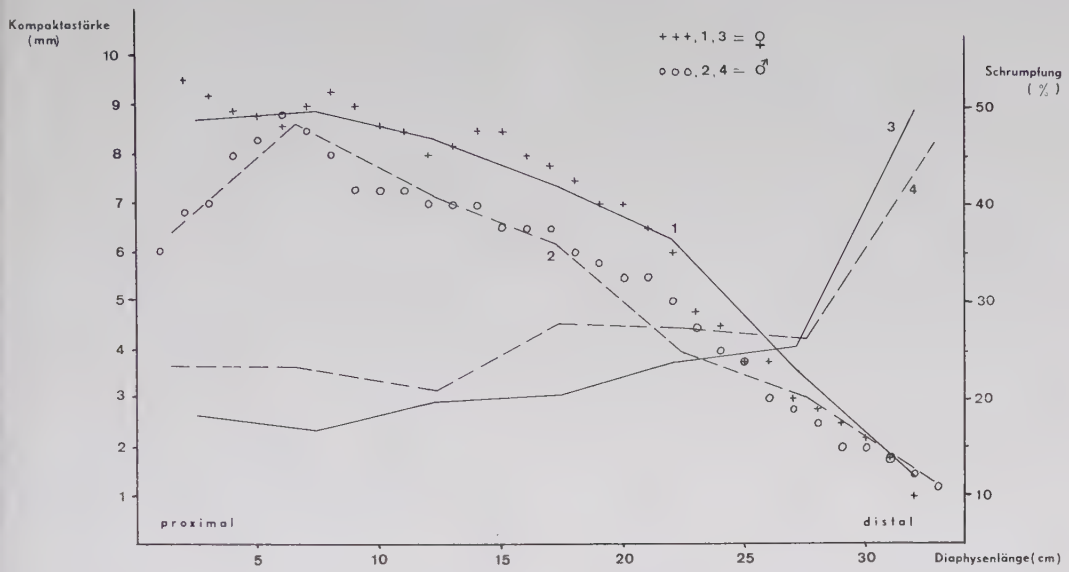


Abb. 23 Schrumpfung der medialen Femurdiaphysenwand. Wandstärke nach Direktmaßen (Kurven 1,2) und nach Röntgenaufnahmen (+ + +, ○ ○ ○) und zugehörige Schrumpfungsbeträge Kurven 3,4)

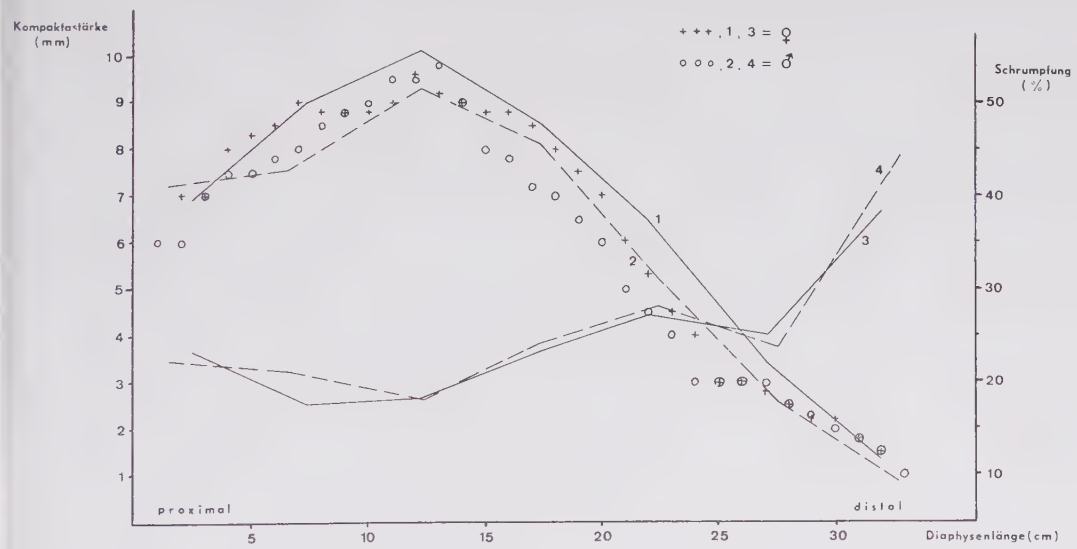


Abb. 24 Schrumpfung der lateralen Femurdiaphysenwand. Wandstärke nach Direktmaßen (Kurven 1,2) und nach Röntgenaufnahmen (+ + +, ○ ○ ○) und zugehörige Schrumpfungsbeträge Kurven 3,4)

Die Ergebnisse sind in Abb. 23, 24 graphisch dargestellt. Mit zunehmender Wandstärke wird die Schrumpfung geringer. Man kann deshalb für Frauen, die durchschnittlich eine geringere Wandstärke aufweisen als Männer, einen größeren Schrumpfungsbetrag erwarten. Allerdings möchte ich darauf hinweisen, daß nicht die Wandstärke allein, sondern auch der Mineralgehalt pro Volumen auf den Schrumpfungsbetrag Einfluß nehmen dürfte, da die Schrumpfung auf die thermischen Veränderungen des Knochenminerals zurückgeht. Die Ergebnisse über die Verteilung des Mineralgehaltes im Knochen

(Hiness, 1968; Helelä, 1969; Heuck, 1970 a) und bei den Geschlechtern (Trotter und Peterson, 1962, 1970; Mayo, 1961; Meema et al., 1964; Heuck, 1970 a) sind widersprüchlich. Weitere Arbeiten sind erforderlich, um die Zusammenhänge zwischen Mineralgehalt, Wandstärke und Schrumpfungsbetrag aufzuklären.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Schrumpfung eines Knochens abhängig ist:
1. von der Makrostruktur des Gewebes (Spongiosa schrumpft stärker als Kompakta),
2. von der stofflichen Zusammensetzung und den Materialeigenschaften des Knochengewebes,
3. von der Höhe und Dauer der einwirkenden Temperatur.

Die Art der einwirkenden Wärme (Elektroofen, offenes Feuer) ist ohne Einfluß auf den Schrumpfungsbetrag. Die maximale und endgültige Schrumpfung eines Knochens tritt auf, wenn er Temperaturen um $> 800^\circ$ C ausgesetzt ist. Ein „vollkommen" verbrannter Knochen wäre demnach als quantitativ pyrolysiert und maximal geschrumpft (gesintert) zu definieren. Es genügt nicht, einen Knochen nach dem Augenschein als „vollkommen" verbrannt zu klassifizieren. Die bisher in der Literatur veröffentlichten Schrumpfungsbeträge sind nicht über XRD-Analysen oder Raster-Elmi-Aufnahmen abgesichert. Eine derartige Überprüfung hätte vor dem Irrtum bewahrt, daß sogenannt vollkommen verbrannte prähistorische Leichenbrände einen geringen Schrumpfungsgrad zeigten, der oft noch vernachlässigt werden können.

4.3.4. Welchen Schrumpfungsbetrag weisen die Skeletelemente von Combe Capelle auf?

Das postcraniale Skelet von Combe Capelle verbrannte in einem „gewölbeartigen Raum" (Heberer), dessen Mauern der Brandkatastrophe standhielt. Damit war das Skelet einem allseitig einwirkendem Wärmeeinfluß ausgesetzt. Mit Ausnahme des rechten Unterarmes und des rechten Oberschenkels tragen alle langen Extremitätenknochen ausgedehnte Kohlenstoffverfärbungen auf ihrer Oberfläche, die überwiegend scharf begrenzt sind und z. T. regelrechte Muster bilden. Man muß annehmen, daß diese Skeletelemente durch aufliegende Materialien teilweise abgedeckt waren, so daß die Wärme nicht in voller Intensität auf diese Partien einwirken konnte. Da in dem Raum „alles brennend übereinander stürzte" (Heberer), war eine Abdeckung einzelner Knochen durchaus möglich. Die auf einerseits freiliegende und andererseits abgedeckte Skeletteile wirksame Temperatur kann jedoch keine großen Unterschiede aufgewiesen haben. Posner kam zu dem Schluß (vgl. 4.2.), daß die von ihm untersuchten Proben nicht Temperaturen oberhalb 900° C ausgesetzt waren. Andererseits zeigen Proben beider Humeri und Femora eine umfassende Sinterung, so daß die Expositionstemperatur mindestens 800° C betragen haben muß.

Die Verbrennung eines fossilen Skeletes ist ein Sonderfall. Niemand vermag gegenwärtig den Einfluß der erfolgten Fossilisierung auf das thermische Verhalten abzuschätzen. Läßt man diese Problematik unberücksichtigt, müßte man allein aus dem Verbrennungsgrad der Knochen von Combe Capelle Schrumpfungsbeträge erwarten, die für Längsmaße größenordnungsmäßig zwischen 6 und 12 % und für Durchmesser zwischen 12 und 25 % liegen. Die tatsächlichen Beträge entsprechen diesen Erwartungen recht gut (Tabelle 2). Mit Rücksicht auf den Zustand des Materials habe ich allerdings unterlassen, durch einen Kontrollversuch festzustellen, ob die Schrumpfungsbeträge tatsächlich endgültig sind. Leider lassen sich nur noch an wenigen Skeletelementen Maße nehmen, die mit den Angaben von Klaatsch und Hauser (1910) bzw. mit den Abgüssen verglichen werden können. Die Skeletelemente die nicht oder nur teilweise abgedeckt waren, zeigen gegenüber den völlig geschützten Stücken leicht erhöhte Schrumpfungsbeträge. Am deutlichsten wird dies beim rechten Radius. Bis auf das Capitulum, das offensichtlich bei Beginn des Brandes vom übrigen Knochen getrennt wurde, befand sich der gesamte Radius mit der Ulna in einem Glasflußblock. Die Diaphysendurchmesser sind erheblich geschrumpft, während das Capitulum eine relativ geringe Größenabnahme zeigt.

Die Bestattung des Skeletes unterhalb der Abtropfkante des Felsüberhanges hatte den Vorteil, daß die Knochen bis zu ihrer Auffindung in einem Ca-reichen und feuchten Milieu lagen. Man darf deshalb wohl davon ausgehen, daß die von Klaatsch praktisch unmittelbar nach der Bergung genommenen

Tabelle 2

Vergleich der Maße von Combe Capelle vor und nach der Verbrennung

	nach Verbrennung	Combe Capelle Originalmaß (O) Abgußmaß (A)	Schrumpfung (%)
Femur r. (f)			
Sagitt. ∅ Diaphysenmitte	28 (O)	24.4	12.9
Transv. ∅ Diaphysenmitte	26 (O)	21.9	15.8
Radius r.			
Transv. ∅ Cap. radii (a)	19.5 (O)	(18.5)	(5.1)
∅ Diaphysenmitte (dorsovolar) (f)	11 (O)	8.4	23.6
∅ Diaphysenmitte (transversal) (f)	12.5 (O)	(10.5)	(16.0)
Humerus r. (tw)			
Tiefster Punkt d. Trochlea – distale Kerbe auf Diaphysenmitte	174 (A)	163	6.3
Epicond. med. – Defekt am Epicond. lat.	52 (A)	(42.9)	(5.4)
Größter ∅ Diaphysenmitte	20.5 (O)	18.9	7.8
Kleinster ∅ Diaphysenmitte	15 (O)	13.7	8.7
Femur l. (tw)			
Sagitt. ∅ Diaphysenmitte	29 (O)	25.3	12.8
Transv. ∅ Diaphysenmitte	24 (O)	(22.4)	(6.7)
Fraktur, dorsal auf Diaphysenmitte – tiefster Punkt d. Cond. med.	212 (A)	193	9
Patella r. (tw)			
Größte Höhe	42.4 (A)	37.2	12.3
Tibia l. (tw)			
∅ im Niveau d. Foramen nutric.			
sigittaler ∅	36 (O)	31.3	13.1
transvers. ∅	25 (O)	19.5	22
Fibula l. (a)			
Größte Länge	360 (O)	350	2.8

Beurteilung nach Oberflächenverfärbung:

(f) = freiliegend

(tw) = teilweise abgedeckt

(a) = abgedeckt

Maße annähernd den leichenfrischen Werten gleichkommen. Die zwischen 1910 und der Verbrennung 1945 sicherlich eingetretene Schrumpfung durch Austrocknen braucht nicht besonders berücksichtigt zu werden, da sie im Endbetrag enthalten ist. Gegenüber den Originalmaßen bzw. Abgüssen zeigt Combe Capelle folgende Schrumpfungsbeträge:

Die Längsmaße der teilweise abgedeckten Knochen sind durchschnittlich um 6.9 % geschrumpft, während die Größte Länge der abgedeckten linken Fibula um nur 2.8 % verringert ist. Die Diaphysendurchmesser der freiliegenden Extremitätenknochen zeigen im Mittel 17.1 % Schrumpfung, die Durchmesser der teilweise abgedeckten Skeletteile hingegen nur 11.9 %. Insgesamt entsprechen die aufgetretenen Schrumpfungsbeträge annähernd den Erwartungswerten.

5. Die Untersuchung der Skeletreste von Combe Capelle

5.1. Geschlechts- und Altersdiagnose

Die Kriterien der Geschlechts- und Altersdiagnose von Skeleten wurden an rezentem Material gewonnen. Ihre Anwendung auf Objekte vor- und frühgeschichtlicher Zeiträume beruht auf der vereinfachenden Annahme, daß geschlechtsspezifische und altersvariable Merkmale von evolutiven Veränderungen praktisch nicht betroffen seien. Der Knochen ist ein außerordentlich stoffwechselintensives Organ (Amprino, 1970; Dulce, 1970; Frost, 1964; Neuman und Neuman, 1958; Yeager, 1971; u. a.). Der physiologischen Aktivität entspricht im strukturellen Bereich ein rascher Umbau als Anpassungserscheinung auf veränderte funktionelle Beanspruchung (Ascenzi und Bell, 1972; Evans, 1958, 1967, 1969; Kummer, 1959, 1962; McElhaney, 1971; Pauwels, 1965; u. a.). Der Knochen zeigt eine ausgedehnte Reaktionsfähigkeit auf mechanische Reize. Somit sind morphologische Merkmale des Skeletes und seiner Elemente umwelt- und altersvariabel (Vogel, 1971). Hierin liegen letztlich auch die prinzipiellen Schwierigkeiten einer Geschlechts- und Altersdiagnose prähistorischer Skeletfunde, für die eine Abschätzung der jeweiligen Umweltsbedingungen kaum möglich ist. Angesichts des hohen geologischen Alters von Combe Capelle ist hervorzuheben, daß bei prähistorischen Skeleten nicht das wahre Geschlecht und Lebensalter bestimmt werden. Vielmehr mißt man vorgeschichtliche Funde mit einem Maßstab, dessen Gültigkeit nur für rezente Verhältnisse erwiesen ist (Genoves, 1963 a, 1963 b; Nemeskeri und Harsanyi, 1962).

Die Leichenbranduntersuchung hat bisher keine spezifischen Methoden zur Geschlechts- und Altersdiagnose entwickelt. Geschlecht und Alter eines Leichenbrandes werden nach den für unverbranntes Material gültigen Kriterien bestimmt (Chr. Müller, 1964; Gejvall, 1963). Allerdings sind Wertigkeitsverschiebungen infolge der wärmeinduzierten Veränderungen an den Knochen zu berücksichtigen (Dokladal, 1969, 1970).

5.1.1. Geschlechtsdiagnose

In einer Kontrolluntersuchung an 200 rezenten Krematoriumsbränden gelang es Dokladal (1969), das Geschlecht in 76 % aller Fälle richtig zu bestimmen. Gemessen an den Schwierigkeiten ist das Ergebnis beachtlich, wenn auch die Untersuchung unter optimalen Bedingungen durchgeführt wurde (vollständige Aufsammlung der Verbrennungsrückstände, reiche Erfahrung des Bearbeiters). Bei prähistorischen Leichenbränden ist das Ergebnis sicher nicht so gut. Die Unvollständigkeit der Leichenbrände erschwert die Diagnose. Auffälligerweise wird die Mehrzahl prähistorischer Leichenbrände als weiblich bestimmt. „In the most archeological cremations found in Czechoslovakia as well as in other countries about 60 % and in some localities even more burned skeletons have been sexed as females ... it is very difficult to give a satisfactory explanation to this majority of female cremations." (Dokladal, 1971). Gladykowska-Rzeczycka (1971) gibt in ihrer zusammenfassenden Arbeit über polnische Leichenbranduntersuchungen als möglichen Grund dafür an: „This may be a result of the greater mobility of men, who taking part in war expeditions often died far from the places of their birth. Presumably, individuals with stronger physical conditions took part in the expeditions, while weaker ones remained at home." Bei anderer Lesart enthält dieser Satz den wohl eher zutreffenden Grund. Grazile Skelete werden allgemein eher dem weiblichen Geschlecht zugeordnet. Die teilweise verbreitete

Unterschätzung des Schrumpfungsgrades bei Leichenbränden dürfte zur Folge haben, daß vermehrt scheinbar grazile Individuen gefunden und bei Fehlen eindeutiger Geschlechtsindikatoren als „eher weiblich" bestimmt werden.

(Auf ein ähnliches Problem hat Häusler (1966) bei der Durchsicht steinzeitlicher Skeletgräber aufmerksam gemacht. Hier stößt man auf einen erheblichen Männerüberschuß, der auf Polyandrie, Mädchentötung und Kannibalismus zurückgeführt wird. Häusler weist zu Recht darauf hin, daß übermäßig verschobene Geschlechtsrelationen eine Überprüfung der anthropologischen Bestimmungsmethodik erfordern, ehe weitreichende und spekulative Schlüsse gezogen werden.)

Während bei unverbrannten Skeleten immerhin noch biochemische Methoden zur Geschlechtsbestimmung mitverwendet werden können (Lengyel und Nemeskeri, 1964), besteht diese Möglichkeit bei Leichenbränden nicht. Die Geschlechtsdiagnose an Leichenbränden gründet sich ausschließlich auf morphologische Kriterien (Gejvall, 1963; Chr. Müller, 1964; Dokladal, 1969, 1970). Durch den Wärmeeinfluß werden jedoch nicht alle Merkmale gleichartig verändert. Für die Geschlechtsdiagnose an Leichenbränden eignen sich vor allem Formmerkmale des Schädels (Dokladal, 1969, 1970). Stehen, wie im Falle von Combe Capelle, nur Elemente des postcranialen Skeletes zur Verfügung, ist eine Geschlechtsdiagnose stark erschwert. Als zuverlässige Geschlechtsindikatoren im postcranialen Bereich läßt Dokladal bei Leichenbränden lediglich die Robustizität resp. Grazilität der Knochen, die Größe des Dens axis und der Patella gelten. Seine Begründung, daß die Kniescheibe in den meisten Fällen auch nach der Verbrennung ihre ursprüngliche Form und Größe zeigt, trifft aber nicht zu. Die Patella zeigt als spongioser Knochen ganz erhebliche Schrumpfungsbeträge. Sie ist meiner Auffassung nach kein geeignetes Merkmal für die Geschlechtsbestimmung. Bedingt verwendbare Merkmale sind nach Dokladal die Ausmaße der Fossa glenoidalis und der Langknochenepiphysen. Form und Krümmung des Kreuzbeines sollen gleichfalls bedingt nutzbar sein. Als unbrauchbar bezeichnet Dokladal die Ausmaße sowie die Formmerkmale des Beckens. Es ist unverständlich, wenn Dokladal einerseits das Symphysenrelief des Schambeines unter die zuverlässigen Identifizierungskriterien einordnet, andererseits Ausmaße und Formmerkmale des Beckens als nicht geeignet verwirft. Ich habe bei der Untersuchung prähistorischer Leichenbrände zahlreiche Beckenfragmente gefunden, die nur einen sehr geringen Deformationsgrad aufwiesen. Gerade die Gegend um die Incisura ischiadica major ist als relativ kompaktareiche Region recht widerstandsfähig und daher als Geschlechtsmerkmal auch bei Leichenbränden in der Regel durchaus geeignet. Es ist auch nicht einzusehen, warum lediglich das Symphysenrelief wärmestabil sein soll, während die geschlechtsspezifischen Formmerkmale des Schambeines (Phenice, 1969) nicht zur Geschlechtsdiagnose geeignet sein sollen. Nach meiner Auffassung sind die Formmerkmale der Incisura ischiadica major und des Schambeines auch bei Leichenbränden brauchbare Geschlechtsindikatoren.

Mathematische Trennverfahren zur Geschlechtsdiagnose an einzelnen Elementen des postcranialen Skeletes wurden fast ausschließlich für nichtverbranntes Material entwickelt (Washburn, 1948; Pons, 1955; Thieme und Schull, 1957; Genoves, 1963; Jit und Singh, 1966; Helmuth und Rempe, 1968; van Gerven, 1972; u. a.). Sie sind wegen der Unvollständigkeit des Materials und der zahlreichen wärmebedingten Änderungen am Knochen bei Leichenbränden nur begrenzt anwendbar. Gejvall (1963) konnte zeigen, daß sich männliche und weibliche Leichenbrände in der Wandstärke der langen Knochen signifikant unterscheiden. Ebenso weisen die Capita humerorum bei männlichen und weiblichen Leichenbränden unterschiedliche Durchmesser auf. Van Vark (1970) setzte erstmals Diskriminanzfunktionen mit gutem Erfolg zur Geschlechtsbestimmung bei Leichenbränden ein. Das von Thieme (1970) mitgeteilte Verfahren zur Geschlechtsdiagnose mit Hilfe der Wandstärke der Skeletelemente ist unbefriedigend, weil die Trennung der Geschlechter auf der Mittelwertbildung „so vieler Maße wie möglich" beruht, ohne daß eine Wichtung der einzelnen Maße vorgenommen wurde.

Für die Beurteilung eines Einzelfundes wie Combe Capelle, aus einer Population, deren individuelle Varianten unbekannt sind, haben mathematische Trennwerte nur wenig Aus-

sagekraft. Die Warnung von Thieme und Schull (1957) „Our problem is to sex the individual and not the measurement" ist hier besonders zu beachten. Die Möglichkeiten, eine Geschlechtsdiagnose ausschließlich an Resten der postcranialen Regionen durchzuführen, ist bei Leichenbränden ebenso begrenzt, wie bei Körpergrabskeleten. Bei Leichenbränden besteht eine zusätzliche Schwierigkeit durch die Unvollständigkeit und den fragmentarischen Erhaltungszustand der Skeletreste.

Die Geschlechtsdiagnose an Combe Capelle kann sich aber doch auf einige Merkmale stützen:

1. Die Wandstärke der mittleren vorderen Diaphysendrittel zeigen bei Combe Capelle folgende Werte:

Humerus rechts 4.7 mm Humerus links 4.9 mm
Femur rechts 7.6 mm Femur links 7.2 mm

Gejvall (1963) gibt als Mittelwerte für die Wandstärke verbrannter Knochen an:

	männlich	weiblich
Humerus	6.7 mm (V = 4.0 – 11.5; n = 47)	2.7 mm (V = 1.7 – 5.0; n = 32)
Femur	4.1 mm (V = 2.6 – 6.6; n = 30)	5.3 mm (V – 2.2 – 8.5; n = 41)

Die Werte von Combe Capelle liegen oberhalb der Mittelwerte für männliche Individuen, ein Ergebnis, das auf männliches Geschlecht hindeutet. Da die Wandstärke ein belastungsabhängiges Merkmal ist, muß das Resultat mit Zurückhaltung bewertet werden. Die Langknochen sind zwar schlank, aber dennoch kräftig. Der Robustizitätsgrad könnte aber nur sinnvoll im Vergleich mit anderen Objekten derselben Population ermittelt werden.

2. Die Durchmesser der Cap. humerorum von Combe Capelle betragen:

	Humerus rechts	Humerus links
vertikaler Durchmesser	(44) mm	43 mm
transversaler Durchmesser	38 mm	37 mm

Gejvall (1963) gibt als Mittelwerte an:

	männlich	weiblich
vertikaler ∅	44.4 (V = 40 – 52; n = 56)	41.8 (V = 34.5 – 45.0; n = 47)
transversaler ∅	38.9 (V = 37 – 47; n = 44)	35.5 (V = 32.0 – 40.5; n = 39)

Die Werte von Combe Capelle liegen zwar geringfügig unter den männlichen Mittelwerten, aber deutlich über den weiblichen. Man darf daher auch hier eher auf männliches Geschlecht schließen.

3. Am Fragment des rechten Corpus ossis ilii ist der Scheitel der Incisura ischiadica major erhalten (Abb. 10, 33). Die Krümmung des Scheitels und der Verlauf der Schenkelansätze deuten einen engen Winkel an, so daß ein weiteres Indiz für männliches Geschlecht vorliegt.

4. Vom rechten Schambein ist der Ramus superior mit Facies symphysialis und dem etwa 1 cm langen Ansatz des Ramus inferior erhalten (Abb. 10). Letzter spricht für einen leicht konvexen Verlauf des Ramus inf., ein konkaver Verlauf der medialen Kante erscheint ausgeschlossen. Nach Phenice (1969) ist dieses Formmerkmal typisch für das männliche Geschlecht. Auch die geringe Höhe der Fac. symphysialis weist in diese Richtung. Alle Merkmale, die bei Combe Capelle für

eine Geschlechtsbestimmung verwendbar sind, deuten auf männliches Geschlecht. Wegen der Unkenntnis der Variationsbreite geschlechtsspezifischer Merkmale in der Combe-Capelle-Population ist die diagnostische Sicherheit jedoch eingeschränkt. Sie ist es darüber hinaus durch den fragmentarischen Erhaltungszustand der merkmaltragenden Skeletelemente. Obwohl zur Diagnose lediglich unvollständige Reste des verbrannten postcranialen Skeletes zur Verfügung stehen, kann das Geschlecht von Combe Capelle nach morphologischen Kriterien als „wahrscheinlich männlich" angegeben werden. Die Übereinstimmung dieses Ergebnisses mit dem Befund von Klaatsch und Hauser (1910) verdeutlicht die Leistungsfähigkeit der Leichenbranduntersuchung.

Insgesamt sind die gegenwärtig gebräuchlichen Verfahren zur Geschlechtsdiagnose bei Leichenbränden dennoch unbefriedigend. Es scheint dringend geboten, spezifische Verfahren für die Leichenbranduntersuchung zu entwickeln. Hierbei müßte besonderer Wert auf histologische und mineralogische Aspekte gelegt werden. Nach Enlow (1966) sind histologische Geschlechtsunterschiede am Knochen bisher nicht nachgewiesen. Dies muß jedoch nicht heißen, daß ein histologischer Geschlechtsdimorphismus fehlt. Die Haut war ein histologisch ähnlich gut untersuchtes Gewebe wie der Knochen, und erst 1972 gelang der Nachweis geschlechtstypischer Binnenstrukturen an bestimmten Körperstellen (G. Müller und Nürnberger). Vielleicht gelingt es in künftigen Untersuchungen, doch noch geschlechtsspezifische Strukturen im Knochen nachzuweisen. Bei den engen Beziehungen des Hormonhaushaltes zum Kollagen- und Mineralstoffwechsel könnte durchaus auch ein mineralogisch nachweisbarer Geschlechtsunterschied bestehen.

5.1.2. Die Altersdiagnose

Grundsätzlich wird bei der Altersdiagnose eines Skeletes nicht das chronologische Alter, sondern das physiologische Alter bestimmt. Da zwischen chronologischem und physiologischem Alter Diskrepanzen bestehen können, ist die Altersdiagnose am Skelet in Wirklichkeit eine Altersschätzung. Dennoch gelang Dokladal (1969) in der erwähnten Kontrolluntersuchung an rezenten Krematoriumsbränden eine zutreffende Altersschätzung (± 5 Jahre) in 60 % aller Fälle.

Die Altersdiagnose am postcranialen Skelet stützt sich auf 1. makromorphologische Kriterien, 2. mikromorphologische Kriterien und 3. physikalisch-chemische Kriterien.

1. Makromorphologische Kriterien

Bislang wurden für die Altersbestimmung an Leichenbränden ausschließlich makromorphologische Kriterien herangezogen. Dokladal (1969, 1970) hat in seiner eingehenden Untersuchung zur Morphologie verbrannter Knochen zeigen können, daß im postcranialen Bereich lediglich zwei makromorphologische Merkmale von Hitzeveränderungen weitgehend unberührt bleiben: das Relief der Facies symphysialis ossis pubis und das Ausmaß der proximalen Markhöhle von Humerus und Femur. Dokladal hat den Obliterationsgrad der Epiphysenfugen nicht berücksichtigt. Dieses Merkmal eignet sich für eine differenzierte Altersbestimmung zwar nur bei praeadulten Individuen, ist aber für eine Grobeinschätzung bei Leichenbränden oft ein sehr wesentliches Hilfsmittel. Die Epiphysenfugen sind bis spätestens gegen das 25. Lebensjahr verknöchert. Bei Combe Capelle sind die Fugen nicht mehr sichtbar; ebenso fehlen auf den Röntgenaufnahmen der erhaltenen Extremitätenknochen Narbenlinien der Epiphysen. Man darf daher für Combe Capelle ein Alter annehmen, daß um einiges über dem Zeitpunkt des Epiphysenschlusses liegt. Das Individium war mindestens mitteladult, vorausgesetzt, daß normales Wachstum vorliegt, wogegen keine Anzeichen sprechen (vgl. Kap. 5.3.).

Ein zuverlässiges Merkmal zur Altersbestimmung ist das Relief der Facies symphysialis des Schambeines. Ursprünglich von Todd (1920) entwickelt, haben Brooks (1955) und vor allem McKern und Stewart (1957) die Methode derart verbessert, daß recht genaue Altersdiagnosen möglich werden. Die Symphysenfläche des rechten Schambeines von Combe Capelle zeigt eine nahezu glatte Oberfläche. Kleine Unebenheiten befinden sich auf der unteren Hälfte. Der Symphysenrand ist dorsal wie auf der unteren Ventralseite fertig ausgebildet. Wegen der Beschädigung des oberen ventralen Randbereiches bleibt leider unklar, ob der Begrenzungsrand in diesem Bereich einen Abbau zeigt. Jedenfalls befindet sich in der Mitte der ventralen Randleiste eine kleine Delle.

Diese Verhältnisse entsprechen den Stufen VII bis VIII nach Todd (1920). Das Alter läge demnach zwischen 35 und 44 Jahren. Nachdem Brooks (1955) feststellte, daß die Methode von Todd leicht zu hohe Alter ergibt, haben McKern und Stewart eine differenzierende Methode ausgearbeitet. Nach diesen Kriterien ergibt sich als Komponentensumme 13 bzw. 14 und damit ein Alter von 29.18 ± 3.3 bzw. 35.84 ± 3.89 Jahren. Berücksichtigt man die von Nemeskeri et al. (1960) aufgestellten Normgrenzen, zeigt das Symphysenrelief das morphologische Stadium IV. Das Alter wäre demnach auf 51.7–64.6 Jahre anzunehmen. Dieses Ergebnis weicht erheblich von den Altersschätzungen ab, die sich nach den Methoden von Todd sowie McKern und Die Altersbestimmung über das Ausmaß der proximalen Markhöhle von Humerus und Femur (Hansen, 1953/54; Schranz, 1959; Nemeskeri et al., 1960; Roth-Lutra, 1965) eignet sich jedoch nur zur Ermittlung größerer Altersabschnitte, da die Veränderungen der Markhöhle keiner strengen altersabhängigen Gesetzmäßigkeit folgen (Kellner, 1957). Leider ist bei Combe Capelle nur die Markhöhle des rechten Femur erhalten (Abb. 14). Die Markhöhlenkuppe hat den Unterrand des Trochanter minor geringfügig überschritten. Innerhalb der Spongiosa sind keine Leistenzüge erkennbar. Das Trabekelgeflecht ist gleichmäßig und dicht.

Nach Hansen und Schranz wäre das Alter danach auf 40 bis 50 Jahre anzunehmen. Nemeskeri et al. geben für diese Ausbildung als Mittelwert 44 ± 2.6 Jahre an.

Hinweise auf das Alter können auch altersbedingte pathologische Veränderungen geben. Wirbelkörperexostosen treten bei 20 bis 30jährigen in geringem Umfang auf, häufiger und ausgeprägter mit steigendem Lebensalter (Chapman, 1972). Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule sind aber besonders von Umwelteinflüssen abhängig. Daneben werden sie auch von Stoffwechselkrankheiten, wie Diabetes, beeinflußt. Bei Combe Capelle zeigen drei Lendenwirbel eine Keilform, ein Lendenwirbel trägt geringe Exostosen (vgl. 5.3). Diese insgesamt mäßigen Aufbrauchserscheinungen könnten als Hinweis auf ein nicht allzu fortgeschrittenes Erwachsenalter gewertet werden.

Schließlich möchte ich auf eine Möglichkeit aufmerksam machen, die bisher noch nicht bei Altersschätzungen berücksichtigt wurde. Röntgenologische Untersuchungen von Spencer und Coulombe (1966) sowie Virtama und Helelä (1969) ergaben eine sehr enge Korrelation (0.95) zwischen der medialen und lateralen Wandstärke von Röhrenknochen und dem Lebensalter. Alter und Wandstärke sind über die Gleichung

$$r_o/r_i = K - 0.014\ A$$

miteinander verbunden. Darin bedeuten r_o die laterale Wandstärke; r_i die mediale Wandstärke; K eine empirisch ermittelte Konstante, die für verschiedene Röhrenknochen bekannt ist; A das Alter in Jahren.

Die Methode eignet sich für die Altersdiagnose an über 30jährigen. Leider ist der Einsatz dieser Methode für die Leichenbranduntersuchung gegenwärtig noch nicht möglich. Erst wenn genügend Unterlagen über Schrumpfungsbeträge vorliegen, dürfte sie mit Erfolg eingesetzt werden können.

2. Mikromorphologische Kriterien

In den letzten Jahren wurden einige histologische Verfahren zur Altersbestimmung an Diaphysenfragmenten entwickelt (Kerley, 1965, 1970; Blumberg und Kerley, 1966; Singh und Gunberg, 1970). Sie beruhen auf der morphometrischen und numerischen Erfassung histologischer Strukturen. Eine histologische Untersuchung verbrannter Knochen steht jedoch vor dem Problem, daß histologische Differenzierungen infolge wärmebedingter Veränderungen direkt nicht mehr faßbar sind.[7] Die topographische Verteilung der Strukturelemente kann aber mit mikroradiographischen Aufnahmen erfaßt werden (s. u.). Das mikroradiographische Bild eines Schnittes aus der vorderen proximalen Femurdiaphyse von Combe Capelle (Abb. 26) zeigt, daß Tangentiallamellen kaum noch vorhanden sind. Die Osteone weisen mehrheitlich

[7] Ollivier et al. (1958) zogen die Durchmesser der Haversschen Kanäle zur Altersbestimmung bei verbrannten Knochen heran. Danach soll die Altersschätzung mit Hilfe der Durchmesser der Haversschen Kanäle in Verbindung mit dem Obliterationsgrad der Schädelnähte zufriedenstellend vorgenommen werden können. Genauere Angaben über die Bestimmungsmethode fehlen jedoch.

nahezu gleiche Größe auf. Diese Verhältnisse sind bei einem maturen Individium zu erwarten (Enlow, 1966; Kerley, 1970; Knese, 1970b). Für höhere Lebensalter sind ausgedehnte Resorptionserscheinungen typisch, die bei Combe Capelle fehlen. Das Bild spricht für ein matures Individium, wobei es der adulten Stufe näher gestanden haben sollte als der senilen.

3. Physikalisch-chemische Kriterien

Biochemische Methoden zur Altersdiagnose von Skeletfunden wurden bisher nur in geringem Umfange eingesetzt (Lengyel und Nemeskeri, 1964). Ihre Reproduzierbarkeit soll auch noch unbefriedigend sein (Aner, 1972). Verstärkte Anstrengungen in dieser Richtung wären sehr zu begrüßen, da altersabhängige Veränderungen in der stofflichen Zusammensetzung der Knochensubstanz auch bei Leichenbränden meßbar sein müßten (vgl. 4.3.3.). Dies gilt besonders für den Mineralgehalt pro Volumen, dessen altersabhängige Änderungen für einzelne Skeletelemente bekannt sind (Heuck, 1970a).

Die Mikroradiographie von Knochenschnitten wurde zur Bestimmung des Mineralisationsgrades einzelner Osteone entwickelt (Amprino und Engström, 1952; Engström, 1970). Aus dem Verhältnis von Osteonenzahl zum jeweiligen Mineralisationsgrad sind Aussagen über Alter und Krankheitsbelastung des Individuums möglich (Jowsey, 1960, 1964; Arnold et al., 1966; Heuck, 1965, 1970b, 1971; Freitag et al., 1971). Mikroradiographische Untersuchungen sind auch an prähistorischen Knochen durchführbar (Baud und Morgenthaler, 1956; Sergi et al., 1972). Es lag deshalb nahe, die Einsatzmöglichkeit der Mikroradiographie für die Leichenbranduntersuchung zu prüfen. Ich habe Mikroradiogramme prähistorischer Leichenbrandknochen angefertigt und gefunden, daß Mikroradiographien verbrannter Knochen in ihrer Aussagefähigkeit den Mikroradiogrammen unverbrannter Knochen nicht nachstehen (Abb. 25). Damit besteht eine Möglichkeit zur Erhebung histologischer Befunde an Leichenbränden, die sich besonders für kleine Leichenbrandfragmente zur Schätzung des Alters und der möglichen Krankheitsbelastung eignet.

Die Herstellung und Auswertung der Mikroradiogramme von Combe Capelle (Abb. 26) übernahm dankenswerterweise Herr Prof. Dr. F. Heuck, Stuttgart. Untersucht wurden Proben aus dem vorderen proximalen Diaphysenbereich beider Femora. Der fortgeschrittene Dekompositionsgrad und die Einlagerung von Bodensalzen erschwerten die Diagnose erheblich. Heuck kam zu folgendem Ergebnis: „Soweit die nicht gut erhaltenen Präparate eine Beurteilung erlauben, muß es sich um das Skelet eines Menschen handeln, dessen Alter jenseits der Pubertät liegt, da Umbauplätze und größere Bezirke niedrig mineralisierten Knochens nicht mehr vorliegen. Sichere Hinweise auf die im Greisenalter zu findenden Strukturauflockerungen des Knochens liegen

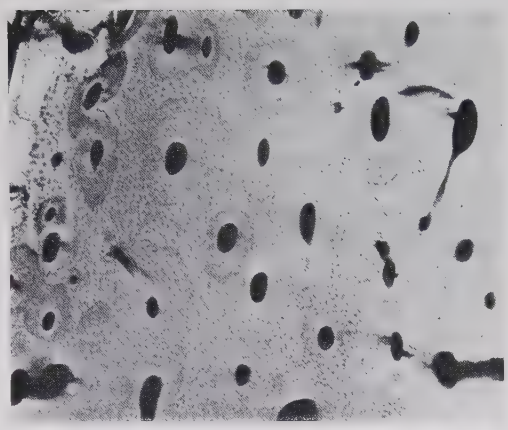


Abb. 25 Mikroradiogramm des Querschnittes einer Femurkompakta aus einem bronzezeitlichen Leichenbrand (Nr. 36, Gräberfeld Rudow, vgl. Herrmann, 1970); 24mal vergr., Markraumseite am rechten Bildrand; die mineralreichen Zonen erscheinen hell, geringer mineralisierte dunkel

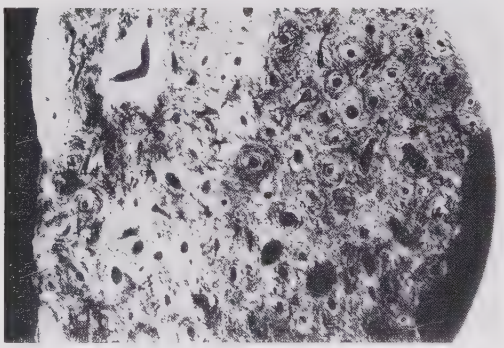


Abb. 26 Mikroradiogramm eines Kompaktaquerschnittes des rechten Femur von Combe Capelle; 17mal vergr.; Markraumseite am rechten Bildrand. Präparat: F. Heuck

ebenfalls nicht vor. Das Alter des Skeletes kann zwischen dem 3. und 6. Dezennium liegen. Eine weitere Einengung oder exaktere Altersbestimmung erscheint mir anhand des vorliegenden Materials nicht möglich."

Gegenwärtig lassen mikromorphologische und physikalisch-chemische Kriterien nur größenordnungsmäßige Altersschätzungen zu. Für Combe Capelle ergibt sich der Befund, daß es sich um ein eher matures Individuum handeln muß. Diese weitgefaßte Altersangabe wird durch die klassischen makromorphologischen Kriterien etwas eingeschränkt. Die Altersdiagnose anhand des Symphysenreliefs ergibt nach Todd ein spätadultes bis frühmatures Alter, während nach McKern und Stewart ein mittel- bis spätadultes Individuum vorliegt. Wird das Symphysenrelief nach den Normgrenzen von Nemeskeri et al. beurteilt, so müßte ein mittelmatures bis frühseniles Alter angenommen werden. Dieses Ergebnis weicht aber von allen anderen Altersschätzungen ab. Zudem berücksichtigen Nemeskeri et al. Differenzierungen des Symphysenreliefs in viel geringerem Maße als McKern und Stewart oder selbst Todd. Somit dürfte dem abweichenden Resultat nicht allzuviel Gewicht beizumessen sein.

Insgesamt kann das Alter für Combe Capelle als spätadult bis frühmatur angegeben werden, wobei das Symphysenrelief den Akzent eher auf die adulte Stufe setzt, während die anderen, weniger spezifischen Methoden, das Gewicht mehr auf die mature Stufe legen. Klaatsch und Hauser (1910) schätzten das Alter von Combe Capelle auf 40 bis 50 Jahre. Der Befund an den unvollständigen, verbrannten Elementen des postcranialen Skeletes entspricht jener Diagnose recht gut.

5.2. Berechnung der Körperhöhe

Die Formeln zur Berechnung der Körperhöhe aus Skeletresten beruhen auf der Untersuchung rezenter Leichen- und Skeletserien. Ihre Verwendung zur Berechnung der Körperhöhe prähistorischer Skeletfunde ist nicht unproblematisch. Vor allem ist fraglich, ob bei prähistorischen Populationen die gleichen Proportionen zwischen Gliedmaßen und Rumpflänge bestanden haben wie bei rezenten Gruppen (Keen, 1953; Kurth, 1954; Gejvall, 1960; Schott, 1962; Helmuth, 1968; u. a.). Die Bestimmung der Körperhöhe bei prähistorischen oder fossilen Skeleten kann daher nur Näherungscharakter haben.

Die gebräuchlichen Formeln zur Berechnung der Körperhöhe gehen zumeist von intakten langen Gliedmaßenknochen aus (Formeln nach Breitinger, Dupertuis und Hadden, Lorke et al., Telkkä, Pearson, Trotter und Gleser, Trotter, s. u.). Sie sind deshalb für die Leichenbranduntersuchung nicht direkt nutzbar, da es praktisch nie möglich ist, aus den fragmentarischen Leichenbrandresten einen Gliedmaßenknochen über seine gesamte Länge wiederherzustellen.[8] Relativ häufig finden sich dagegen bestimmte Abschnitte der Extremitätenknochen in Leichenbränden, insbesondere Epiphysen. Da man die Größte Länge eines Extremitätenknochens auch aus der Länge bestimmter Teilabschnitte berechnen kann (G. Müller, 1935; Strzalko, 1966; Schott, 1967; Steele und McKern, 1969; Steele, 1970), lag es nahe, die Körperhöhe bei Leichenbränden aus erhaltenen Langknochenabschnitten zu bestimmen. Hierzu muß jedoch die Schrumpfung des betreffenden Abschnittes genau bekannt sein. Es wurde bereits darauf hingewiesen (vgl. 4.3.3.), daß Epiphysen stärker schrumpfen als Diaphysen. Teilstücke der Diaphysen schrumpfen ihrerseits um unterschiedliche Beträge. Bei den Schrumpfungsversuchen an Femurdiaphysen (vgl. 4.3.3.) zeigte sich, daß die distalen Diaphysenabschnitte eine wesentlich stärkere Längenabnahme aufweisen, als die proximalen Abschnitte (Abb. 27). Jeder Abschnitt eines langen Gliedmaßenknochens schrumpft demnach um einen charakteristischen Betrag. Ist der Schrumpfungsbetrag eines verbrannten Abschnittes bekannt, kann die Länge des unverbrannten Abschnittes berechnet werden. Daraus erfolgt die Bestimmung der Größten Länge des unverbrannten Langknochens und schließlich die Berechnung der Körperhöhe. Auf diesem Vorgehen beruhen alle Verfahren zur Körperhöhenbestimmung bei Leichenbränden, die bisher entwickelt wurden.

[8] Sein (1939) bestimmte Reduktionskoeffizienten für ganze verbrannte Extremitätenknochen. Wegen erheblicher methodischer Bedenken bleibt seine Arbeit jedoch unberücksichtigt.

Der Vollständigkeit wegen sei auf Depreux und Muller (1952) hingewiesen, die an foetalen Knochen ebenfalls Reduktionskoeffizienten bestimmten.

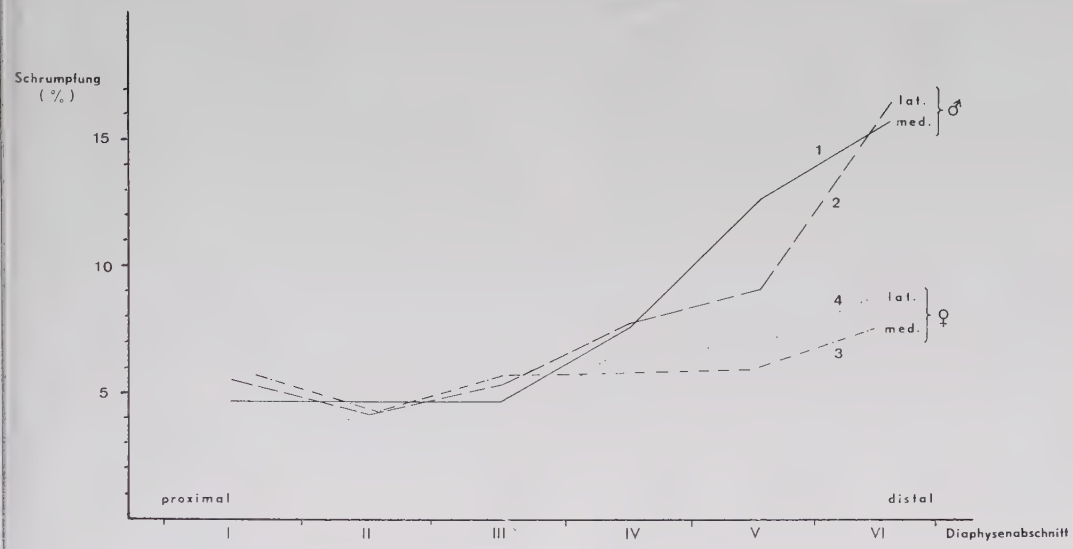


Abb. 27 Ausmaße der Längsschrumpfung an der Femurdiaphyse (vgl. Abb. 23 und 24)

Das Capitulum radii zählt zu den relativ häufig erhaltenen Leichenbrandfragmenten. Chr. Müller (1958, 1958/59) konnte zwischen dem Durchmesser des Radiusköpfchens und der Größten Länge des unverbrannten Radius folgende Beziehung aufstellen (umgeformt):

$$y = 6.1335x + 99.108$$

Darin ist y die Größte Länge des Radius (mm) und x der Durchmesser des Radiusköpfchens (mm). Da zwischen sagittalem und transversalem Durchmesser des Radiusköpfchens kein signifikanter Unterschied besteht (Chr. Müller), kann für x sowohl der sagittale als auch der transversale Durchmesser eingesetzt werden. Aufgrund experimenteller Verbrennungsversuche (vgl. 4.3.2.) gibt Chr. Müller für den Durchmesser des Radiusköpfchens 1.4 % Schrumpfung an. Danach ergibt sich die Größte Länge des unverbrannten Radius (y) aus dem Durchmesser des verbrannten Radiusköpfchens (x) nach der Beziehung (umgeformt):

$$y = 6.2206x + 99.108$$

Die Körperhöhe kann über y aus den Formeln errechnet werden, die für unverbranntes Material entwickelt wurden. Chr. Müller geht aber mit nur 1.4 % Schrumpfung für den Durchmesser des Radiusköpfchens von einer zu geringen Größenverminderung aus (vgl. 4.3.2.), was letztlich eine Unterschätzung der Körperhöhe zur Folge hat.

Gralla (1964) hat für verbranntes Skeletmaterial Regressionsgleichungen entwickelt, mit denen die Körperhöhe direkt aus dem Durchmesser des Radiusköpfchens berechnet werden kann:

für Männer $y = 9.9272x + 1399.10$
für Frauen $y = 7.9079x + 1355.10$

Darin ist y die Körperhöhe in mm und x der Durchmesser des Radiusköpfchens (mm). Gralla beobachtete in Glühversuchen (Bedingungen?) an 8 Radiusköpfchen keine Größenabnahme des Durchmessers. Die Regressionsgleichungen sollen daher auch für verbrannte Radiusköpfchen gültig sein. Das Versuchsergebnis Grallas steht in klarem Widerspruch zu zahlreichen Verbrennungsversuchen (vgl. 4.3.2.). Durch die Vernachlässigung der Schrumpfung ergibt sich mit dieser Methode eine Unterschätzung der Körperhöhe bei Leichenbränden.

Kraul (1963) fand bei der Untersuchung unverbrannter Oberschenkel, daß zwischen dem Krümmungsradius des Femurkopfes und der Größten Länge des Femur die Beziehung $y = 8.35x + 252.9$ besteht.

Darin ist y die größte Femurlänge (mm) und x der Krümmungsradius des Femurkopfes (mm). Der Krümmungsradius wird mit einer Halbkreisschablone in der Ebene des vertikalen Kopfdurchmessers bestimmt. Um die Brauchbarkeit seiner Methode für die Leichenbranduntersuchung zu prüfen, verbrannte Kraul 25 frische Femurköpfe im offenen Holzfeuer („der Vorgang dauerte 30 Minuten"). Diese Verbrennung bewirkte

keine Abnahme der Krümmungsradien. Nach Kraul kann daher die Regressionsgleichung direkt für die Leichenbranduntersuchung benutzt werden. Dieser Auffassung steht entgegen, daß Malinowski und Porawski (1969) in Verbrennungsversuchen (1000° C/? h) an 89 Femurköpfen eine durchschnittliche Schrumpfung des Caput-Durchmessers von 3.2 mm fanden. Der Krümmungsradius des in Abb. 15 gezeigten Femurkopfes betrug vor der Verbrennung 27 mm und nach der Verbrennung (850° C/1.5 h) nur noch 22 mm. Im Gegensatz zur Ansicht Krauls muß man davon ausgehen, daß Femurköpfe prähistorischer Leichenbrände durchaus einen Schrumpfungsbetrag aufweisen. Dieser sollte größenordnungsmäßig bei 10 % liegen (vgl. 4.3.2.). Die Regressionsgleichung von Kraul darf erst dann in die Leichenbranduntersuchung übernommen werden, wenn der Schrumpfungsbetrag des Krümmungsradius über ein Korrekturglied berücksichtigt wird. Anderenfalls liefert diese Methode zu geringe Körperhöhenbeträge.

Strzalko (1966) hatte nachweisen können, daß neben dem Capitulum radii auch die Durchmesser des Caput humeri und des Caput femoris mit der Größten Länge des jeweiligen Knochens korreliert sind. Um über diese Beziehungen die Körperhöhe bei Leichenbränden ermitteln zu können, bestimmten Malinowski und Porawski (1969) zunächst die Schrumpfungsbeträge dieser Gelenkköpfe in ausgedehnten Versuchsreihen (vgl. 4.3.2.), wobei sie folgende Werte fanden:

		mittlere Schrumpfung der Durchmesser (mm)
Capitulum radii	(n = 105)	2.2
Caput humeri	(n = 96)	2.6
Caput femoris	(n = 89)	3.2

Leider machen die Autoren keine Angaben über die prozentualen Schrumpfungsbeträge. Unter Berücksichtigung der ermittelten Schrumpfungswerte verfaßten Malinowski und Porawski eine Tabelle zur Körperhöhenbestimmung aus den Durchmessern der verbrannten Gelenkköpfe. Malinowski und Porawski gehen von Schrumpfungsbeträgen aus, die größenordnungsmäßig auch für prähistorische Leichenbrände angenommen werden müssen. Diese Bestimmungsmethode sollte daher recht zuverlässige Werte für die Körperhöhe bei Leichenbränden liefern.

Unlängst haben Strzalko et al. (1972) eine weitere Methode zur Körperhöhenbestimmung bei Leichenbränden vorgelegt. Dabei gehen die Autoren von den gleichen Abschnitten der Gliedmaßenknochen aus wie Malinowski und Porawski. Zusätzlich wurden die Breite der Humerus-Trochlea und der vertikale Durchmesser des Femurcollum berücksichtigt. Die durchschnittlichen Schrumpfungsbeträge der Abschnitte wurden in Verbrennungsversuchen im Gaskrematorium (1000° C/? h) ermittelt. Auf der Grundlage dieser Schrumpfungswerte (zwischen 10 und 14 %) haben Strzalko et al. eine Tabelle ausgearbeitet, aus der die Körperhöhe zu den Abschnittsmaßen direkt entnommen werden kann. Da die Körperhöhe nach den Formeln von Trotter und Gleser (1952) berechnet wurde, könnte sich für prähistorische Leichenbrände eine Überschätzung der Körperhöhe ergeben, da in die Trotter und Gleser-Formeln die säkulare Körperhöhenzunahme eingegangen ist.

Mit Hilfe dieser für die Leichenbranduntersuchung entwickelten Verfahren kann die Körperhöhe von Combe Capelle aus den verbrannten Skeletresten berechnet werden:

Tabelle 3

Körperhöhe von Combe Capelle berechnet aus den verbrannten Knochenfragmenten

Maß (mm)		Körperhöhe in cm nach Chr. Müller (Pearson-Form.)	Gralla	Malinowski und Porawski	Strzalko et al.
re. Cap. radii, transv.	∅ = 18.5	155.9	158.2	161.5	169.5
li. Cap. radii, transv.	∅ = 19.5	158.0	159.2	162.5	170.0
re. Cap. humeri, vert.	∅ = (44)			163.5	174.3
trans.	∅ = 38			161.5	171.0
li. Cap. humeri, vert.	∅ = 43			161.5	173.5
trans.	∅ = 37			158.5	170.0

Die Berechnung der Körperhöhe von Combe Capelle nach der Methode von Kraul ist nicht möglich, da an dem Fragment des rechten Femurkopfes der Krümmungsradius nicht mehr bestimmt werden kann.

Nach Klaatsch und Hauser (1910) betrug die Körperhöhe des Mannes von Combe Capelle „mit Rücksicht auf die Länge des Femur wahrscheinlich 1600 mm", eine Berechnungsformel wird nicht angeben. Aus den Maßen, die Klaatsch und Hauser für die Längen der Humeri und Femora mitgeteilt haben, ergibt sich die Körperhöhe von Combe Capelle nach verschiedenen Berechnungsformeln:

Tabelle 4

Körperhöhe (cm) von Combe Capelle, berechnet aus den unverbrannten Skeletelementen

		Körperhöhe nach						
(mm) Größte Länge		Pearson	Breitinger	Telkkä	Dupertuis und Hadden	Trotter und Gleser	Lorke	Trotter
Humerus re	313	161.1	167.1	165	166.5	167.6	164	165.9
Humerus li	304	–	164.6	162.3	163.8	165	161.2	163.2
Femur, re, li	425	161.2	164.1	163	164.2	163.2	165.6	161.6

Die Formeln von Pearson, Breitinger, Trotter und Gleser (1958), Dupertuis und Hadden und Telkkä wurden der Arbeit von Krogman (1962 entnommen; Lorke nach Lorke et al., 1953; Trotter nach Trotter, 1970.

Obwohl die Berechnungsformeln von sehr unterschiedlichen Grundgesamtheiten ausgehen, liegen die errechneten Körperhöhen recht eng beieinander. Nach diesen Werten wäre Combe Capelle untermittel- bis mittelgroß (Martin, 1928) gewesen. Für Combe Capelle erscheinen mir die Formeln von Pearson sowie die von Lorke et al. besonders geeignet, weil sie auf der Untersuchung französischer Skeletserien beruhen. Die Formel von Pearson hat darüber hinaus den Vorzug, daß sie an einem Material gewonnen wurde, das noch nicht von der säkularen Körperhöhenzunahme betroffen war. Ich nehme daher an, daß die Körperhöhe von Combe Capelle ca. 162 cm betragen hat.

Von den Werten, die nach den Methoden der Leichenbranduntersuchung errechnet wurden (vgl. Tabelle 3), entsprechen die Körperhöhen nach Malinowski und Porawski am besten diesem Betrag. Überraschend fallen die Werte nach Strzalko et al. recht hoch aus. Die von Strzalko et al. angenommenen Schrumpfungsbeträge unterscheiden sich kaum von denen, die Malinowski und Porawski angeben. Man kann daher eher vermuten, daß die Abweichungen auf den Regressionsgleichungen für die Abhängigkeit zwischen Abschnittsmaß und Größter Länge des Extremitätenknochens beruhen. Außerdem stützen sich Strzalko et al. auf die Formeln von Trotter und Gleser (1952), wodurch eine Überschätzung der Körperhöhe bei prähistorischen Skeleten wahrscheinlich ist.

Die Unterschätzung der Körperhöhe von Combe Capelle nach den Methoden von Chr. Müller und Gralla beruhen darauf, daß die Schrumpfungsbeträge entweder völlig vernachläßigt (Gralla) oder unterschätzt (Chr. Müller) werden.

Insgesamt läßt sich sagen, daß die Körperhöhe eines Leichenbrandes bei Vorliegen geeigneter Fragmente in brauchbarer Annäherung bestimmt werden kann. Am besten scheint dazu gegenwärtig die Tabelle von Malinowski und Porawski geeignet.

5.3. Pathologische Veränderungen

„Jedwede palaeo-pathologische Beurteilung am Knochen bleibt schwierig und unsicher, da uns nie die Weichteile für eine histologische Kontrolle zur Verfügung stehen." Sicher ist diese Äußerung Scheideggers (1963) richtig, doch haben histologische Untersuchungen von Knochenmaterial auch ohne die Kontrolle der Weichgewebsuntersuchung hohe diagnostische Sicherheit. Seit R. L. Moodies klassischen Arbeiten zur Palaeopathologie (1923, 1926) hat sich die histologische Untersuchung von Knochengewebe ständig verbessert, in letzter Zeit vor allem durch den Einsatz morpho-

metrischer Verfahren (bes. H. M. Frost und seine Schule; Merz 1967; Manzke und Heuck, 1970; Vittali, 1970; Hunziker et al., 1972). Zudem sind zahlreiche Erkrankungen auch am charakterischen Bild der Knochenstruktur zu erkennen (z. B. Dämmrich, 1963; Vittali, 1970). Histologische Untersuchungen am verbrannten Knochen sind durch den nivellierend-isotropisierenden Einfluß der Temperatur auf das Knochengefüge außerordentlich erschwert, die Osteone können im histologischen Schliff nicht mehr mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden. Man kann sich jedoch mit der Anfertigung von Mikroradiographien behelfen. Im Mikroradiogramm erscheint das Osteon nicht nur in seiner Ausdehnung, sondern auch der physiologische Status ist erkennbar (Abb. 25). Bei besserer Kenntnis der Schrumpfungsbeträge ließen sich hieran histologisch-morphometrische Untersuchungen anschließen.[9] Da die Mikroradiographie bisher in der Leichenbranduntersuchung nicht eingesetzt wurde, öffnet sich hier ein völlig neues Untersuchungsfeld. Sofern im Leichenbrand Fragmente mit unvollkommenem Verbrennungsgrad vorliegen, die an intensiven primären Kohlenstoffverfärbungen zu erkennen sind (Herrmann, 1972), werden außerdem Feinstrukturuntersuchungen möglich (Abb. 28). Diese könnten, unter Berücksichtigung ähnlicher Untersuchungen an unverbrannten Knochen (Shackleford, 1966; Doberenz und Wyckoff, 1967; Race et al., 1968; Sergi et al., 1972), zusätzliche Informationen liefern.

Bis zur Entwicklung einer leistungsfähigen histologischen Untersuchungsmethodik wird die Beurteilung pathologischer Erscheinungen bei Leichenbränden vorwiegend an morphologischen und röntgenologischen Verfahren orientiert bleiben. Chr. Müller (1964) hat ausführlich zu den diagnostischen Möglichkeiten der traditionellen Leichenbranduntersuchung Stellung genommen. Es soll lediglich nachgetragen werden, daß auch Wachstumsstörungen über Intermediärstreifen (Kühl, 1966) und eine so seltene Mißbildung wie Klumpfuß (Baby, 1954) erfaßt wurden. Pro-

Abb. 28 Intakte Ultrastrukturen in der Femurkompakta eines eisenzeitlichen Leichenbrandes (Nr. 392, Gräberfeld Lübars-Mühlenberg; vgl. Kernd'l, 1971), 11 100mal vergr.

blematisch in der Beurteilung sind unmittelbar vor dem Tode gesetzte Frakturen (vgl. 5.4.), verheilte Frakturen sind dagegen mehrfach beschrieben worden (Laser, 1960; Thieme, 1970).

Am Skelet von Combe Capelle haben Klaatsch und Hauser (1910) einige Formeigentümlichkeiten beobachtet, die sie z. T. als pathologisch ansprechen. Eine Eigentümlichkeit betrifft den linken Humerus. Er ist um 9 mm kürzer als der rechte und weist eine größere Breite des Schaftes auf. Der größere Diaphysendurchmesser beruht auf einer Corticalisverdickung im Bereich der Tuberositas deltoidea, die noch auf dem Röntgenbild des rekonstruierten Humerus beobachtet werden

[9] Die Anfänge histologischer Untersuchungen verbrannter Knochen gehen auf Wada (1909), Bürger (1914) und Schrader (1938) zurück. Einen vorzüglichen Grundstein zur morphometrischen Untersuchung kremierter Knochen hat Добряк (1969) gelegt. In Verbindung mit anderen histologischen Untersuchungsmethoden (vgl. Herrmann, 1973) dürfte die histologische Untersuchung verbrannter Knochen zu einem vielversprechenden Arbeitsgebiet werden.

kann. Augenscheinlich liegen diese ausgeprägten Rechts-Links-Differenzen über den normalerweise bestehenden Unterschieden, und man könnte dafür pathologische Ursachen annehmen. Ich habe jedoch keinen Hinweis auf eine pathologische oder traumatische Entstehung der Ausbildungsdifferenz gefunden. Klaatsch betont die starke Ausprägung des Deltoideus-Ansatzes am linken Humerus und vermutet als Ursache eine stärkere Entwicklung dieses Muskels. Falls diese Annahme zutrifft, könnte auf einen intensiveren Gebrauch des linken Armes geschlossen werden.

Die Knochen des linken Unterschenkels waren nach Klaatsch und Hauser (1910) je 5 mm kürzer als die des rechten, zudem zeigte die linke Tibia eine Krümmung des proximalen Teiles nach fibularwärts. „Es ist wohl anzunehmen, daß es sich um eine pathologische Erscheinung handelt, die nur den linken Unterschenkel betraf, da am Femur keine Ungleichheit der Länge nachzuweisen war, nur die Asymmetrie des Index pilastricus." (p. 330) Da die linke Tibia nur unvollständig erhalten ist, läßt sich keine Aussage mehr zu der von Klaatsch und Hauser beschriebenen Formeigentümlichkeit machen.

Unzweifelhaft pathologische Bildungen sind bei Combe Capelle nur im Bereich der Wirbelsäule feststellbar. Die Lendenwirbel LW 1 und LW 2 zeigen eine deutliche Keilform, beim LW 3 ist diese geringer ausgeprägt (Abb. 11). Exostosen treten lediglich am rechten Rand der cranialen Korpusfläche von LW 3 auf. Bemerkenswert ist, daß die Keilwirbelbildung offenbar nicht mit einer deutlichen osteoporotischen Auflockerung der Wirbelkörperspongiosa verbunden ist. Die pathologischen Bildungen im Wirbelsäulenbereich von Combe Capelle sind als Aufbrauchs- bzw. Verschleißerscheinungen anzusprechen (Buess und Koelbing, 1964; Chapmann, 1972; Grimm, 1959).

Beachtung verdient auch, daß die erhaltenen Metaphysen der Humeri und Femora im Röntgenbild keine Intermediärstreifen zeigen. Demnach scheint die Krankheitsbelastung des Individuums im Jugendalter gering und seine Diät zu dieser Zeit recht ausgewogen gewesen zu sein (McHenry, 1968; Wells, 1967; Gindhart, 1969).

5.4. Verletzungen durch Fremdeinwirken

Bei der Bergung des Skeletes von Combe Capelle befanden sich mehrere Skeletelemente in auffallend dislozierten Positionen, ohne daß die Ausgräber hierfür eine Erklärung gaben. Zudem können auf den Bildtafeln bei Klaatsch und Hauser (1910) am rechten Femur deutliche Spuren von Gewalteinwirkung ausgemacht werden, die gleichfalls unerwähnt blieben. Wie sich an den Abgüssen feststellen läßt, sind auch der rechte Humerus und der linke Femur betroffen. Warum Klaatsch und Hauser die Verletzungen nicht erwähnten, wird noch unverständlicher, wenn man bei Klaatsch und Lustig (1914) die eingehende Erörterung der Verletzungen am Skelet von La Rochette liest. Die Dislokationen bezeichnete Klaatsch (1910) pauschal als „sekundäre Störung der Skeletreste". Von den Verletzungen wird lediglich die Durchbohrung des linken ersten Metatarsale später kurz erwähnt: „Auffallend war die Lagerung der Füsse. Obwohl die Femora bedeutende Dislokationen erfahren hatten, waren die Füsse nicht voneinander entfernt worden und die eigentümliche Haltung der Mittelfussteile an dem im ganzen erhaltenen linken Fussstück machen den Eindruck einer Zusammendrängung. Ob eine Durchbohrung, die am ersten Metatarsalknochen sich fand, eine Bedeutung besitzt, will ich dahingestellt sein lassen. Immerhin konnten Hauser und ich uns des Gedankens nicht erwehren, dass an den Füssen eine künstliche Zusammenfügung vorgenommen worden sei . . ." (Klaatsch, 1910). Als erster hat wohl Gieseler (1952, 1953) ausdrücklich auf die Dislokationen und Verletzungen am postcranialen Skelet von Combe Capelle aufmerksam gemacht. Die Untersuchung der Abgüsse und der Vergleich mit den Verletzungserscheinungen am jungpaläolithischen Skelet von Neuessing ließ ihn zu dem Schluß kommen, das Individuum von Combe Capelle sei gewaltsam zu Tode gekommen, wenn es sich nicht gar um ein Zeugnis für Leichenzerstückelung und Anthropophagie handele (1953).

Die gerichtsmedizinische Begutachtung von Knochenverletzungen in Fällen, wo zur Dissimulation eines Gewaltverbrechens die Leiche teilweise oder ganz verbrannt wurde, ist außerordentlich problematisch. Bereits in einem der ersten solcherart gelagerten Fälle, dem Mord an der Gräfin Emilie von Görlitz im Jahre 1847 (Hitzig und Häring, 1860), wurde von den Gerichtsärzten Bischoff (1850) und Graff (1850) darauf verwiesen, daß die

zur Begutachtung gekommene Fissur am Schädel sowohl durch Gewaltanwendung mit Todesfolge als auch bei dem anschließenden Verbrennungsversuch des Leichnams durch den Täter entstanden sein könnte (vgl. auch Maschka, 1852).

Es erscheint nicht ausgeschlossen, innerhalb eines Leichenbrandes zwischen unmittelbar vor oder nach dem Tode gesetzten mechanischen Frakturen einerseits und wärmeinduzierten Frakturen andererseits unterscheiden zu können (Jastrowitz, 1880), wenn auch eine Unterangezweifelt worden ist (Merkel, 1932). Ähnlich zurückhaltend beurteilten Gordon und Drennan (1948) die Fraktur eines verbrannten Schädels: „... the view was taken that the fracture was probably produced before the fire started." Mit größerer Wahrscheinlichkeit kann aber aus der Art der Hitzerisse geschlossen werden, ob die Knochen zum Zeitpunkt der Verbrennung mit Weichteilen bedeckt waren oder nicht (Baby, 1954; Binford, 1963). Den für die Leichenbranduntersuchung wohl eindrucksvollsten Befund einer Verletzung teilte U. Thieme für ein Individuum vom slawischen Gräberfeld von Prützke mit: „Im 8. oder 10. Brustwirbel wurde durch Röntgenuntersuchung ein aus Bronze bestehender Fremdkörper festgestellt, der schon zu Lebzeiten in den Wirbel eingedrungen war." (Unverzagt und Herrmann, 1958). Chr. Müller (1966) fand im Leichenbrand eines weiblichen Individuums einen Lendenwirbel mit einer Durchbohrung von ventral-cranial nach dorsal-caudal. Anzeichen für Heilungsvorgänge fehlten, eine postmortale Beschädigung soll auszuschließen sein.

Bei den Verletzungen an Combe Capelle handelt es sich sicher nicht um bergungsbedingte Artefakte, da die Ausgräber ihr sorgfältiges Vorgehen besonders betonen. Folgende Spuren von Gewalteinwirkung lassen sich an Combe Capelle noch sicher erkennen: die mediale Hälfte des rechten Cap. femoris ist abgesprengt; am rechten Hüftbein befindet sich in Höhe der Spina il. ant. inf. eine Einkerbung; der Epicondylus lat. des linken Femur ist abgesprengt; auf den Diaphysen des rechten Humerus und rechten Femur sind deutliche Schnittspuren vorhanden; das linke erste Metatarsale ist durchbohrt.

Knochenläsionen, wie sie am Skelet von Combe Capelle auftreten, sind bei Leichenbränden weniger problematisch zu bewerten als Frakturen. Hofmann (1875) hat an dem unverletzten Kopf einer männlichen Leiche in die Gegend des linken Scheitelbeinhöckers eine Trepanationsöffnung gelegt und anschließend den Kopf über 2 h in einem Kachelofen offenem Feuer ausgesetzt. Die Trepanationsöffnung war nach dem Verbrennungsvorgang „vollkommen an Form und Größe erhalten und als solche erkennbar." Aus diesem und ähnlichen Versuchen Hofmanns zog Merkel (1932) den Schluß: „Man kann also mit der Möglichkeit rechnen, daß die Hiebverletzungen und Schußlöcher auch bei verbrannten Leichen nachweisbar sein könnten."

Daß es sich bei den Verletzungen von Combe Capelle um alte Läsionen handelt, geht bereits daraus hervor, daß sie z. T. auf den Abbildungen bei Klaatsch und Hauser (1910) (vgl. Abb. 1 und 5) sichtbar sind. Läßt man diesen Umstand unberücksichtigt, so spricht vor allem der teilweise Überzug der Verletzungsmarken mit einer dünnen Kalksinterschicht für die Entstehung lange vor der Verbrennung. Nach meinen Erfahrungen hat Hitzeeinwirkung eine gewisse Glättung bestehender Bruchflächen zur Folge, die auch an der Verletzung des Beckens unbeobachtet werden kann. Am rechten Femur zerteilt ein

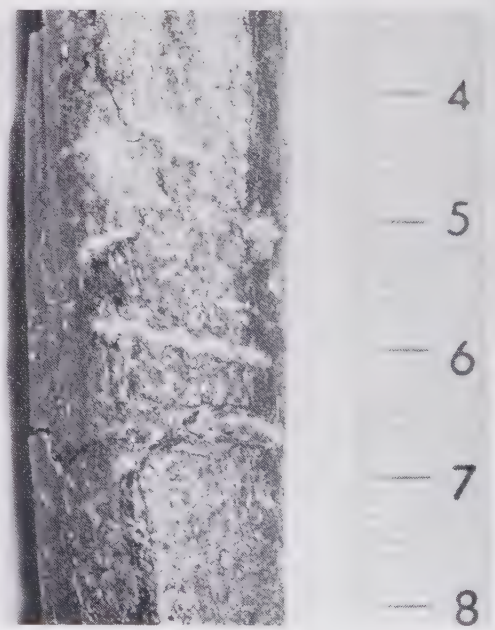


Abb. 29 Schnittspuren auf der Tub.deltoidea des rechten Oberarmes von Combe Capelle

parallel zur Diaphysenlängsachse verlaufender Hitzeriß eine der Schnittspuren. Die so entstandenen Diaphysenhälften zeigen unterschiedliche Schrumpfungsbeträge, die mediale Hälfte ist etwas stärker geschrumpft, so daß die Kerbenteilstücke gegeneinander versetzt sind. Die Schnittspur hat demnach bereits vor der Verbrennung bestanden.

Die Art der Verletzungen läßt auf verschiedene Werkzeuge zur Beibringung schließen, wobei es sich offensichtlich um Schneidinstrumente und stichel- bzw. bohrerähnliche Instrumente gehandelt haben muß.

Auf der Tuberositas deltoidea der rechten Humerusdiaphyse liegen zwei ca. 13 mm lange und 1.5 mm tiefe Schnittspuren etwa 4 mm von einander entfernt. Etwas oberhalb dieser Schnitte sind andeutungsweise drei weitere Marken sichtbar (Abb. 29). Die Schnitte verlaufen annähernd senkrecht zur Diaphysenlängsachse. Die gleichschenkelige V-Form der Schnittränder deutet darauf hin, daß das Instrument senkrecht auf die Knochenoberfläche auftraf. Die Führungsrichtung des Werkzeuges läßt sich nicht angeben.

Auf der distalen Diaphysenhälfte des rechten Femur sind insgesamt 7 Schnittspuren von 4 bis 24 mm Länge sichtbar (Abb. 30). Von ihnen hat eine Spur Druckmarkencharakter (b), der Schnitt scheint nicht zur Ausführung gekommen zu sein. Die Spur (d) könnte nach ihrem kurvenförmigen Verlauf als „Abrutscher" bezeichnet werden (Abb. 30b). An den Schnittspuren fällt auf, daß sie sämtlich medial spitz beginnen und gegen lateral stumpf auslaufen. Dieser Umstand spricht für eine Druckvergrößerung während der Schnittführung in der Weise, daß offenbar medial be-

a b c

Abb. 30 Übersicht über die Anordnung der Schnittspuren auf der rechten Femurdiaphyse von Combe Capelle. (a) = Ventralansicht; Teilansicht von ventral (b) und medial (c)

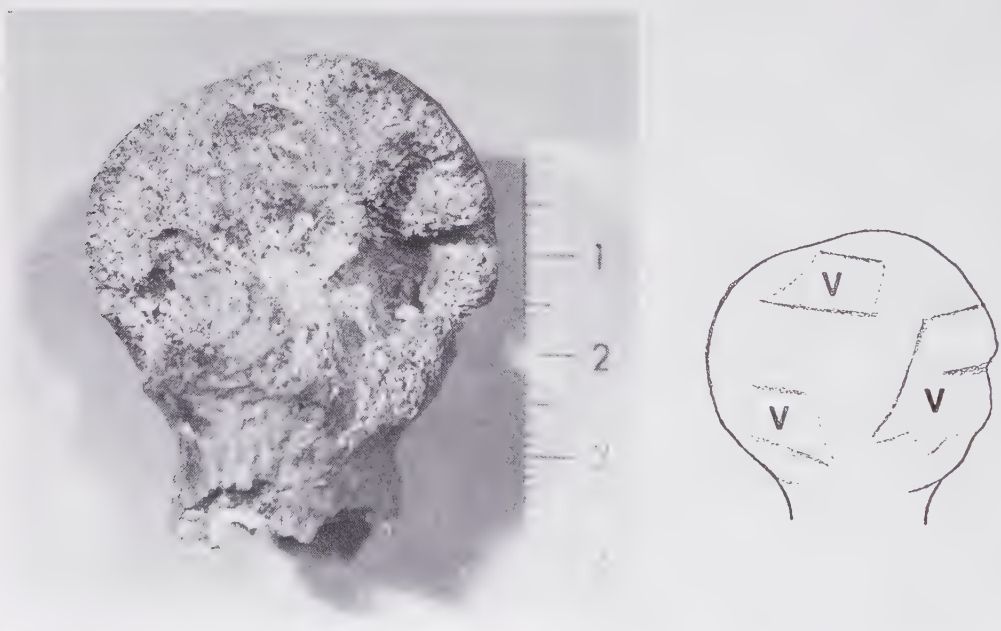
gonnen und nach lateral geschnitten wurde. Die distalen Schnittränder stehen steil und verlaufen glatt, die proximalen Schnittränder verlaufen flacher und weisen am Rande Ausbrüche von Knochensubstanz auf. Demzufolge wurde das Werkzeug nicht senkrecht zur Knochenoberfläche sondern gegen proximal geneigt geführt. Die Ausbrüche sprechen für eine unregelmäßige Beschaffenheit der Klinge. Beim Lebenden wären die Schnitte mit der Durchtrennung der Arteria fem. verbunden gewesen und hätten zum Verbluten geführt.

Die mediale Hälfte des rechten Cap. femoris ist durch Gewalteinwirkung abgesprengt. Die Verletzung ist offenbar bei der Herauslösung des Kopfes aus der Pfanne entstanden. Die breiten, flachen Konturen der Verletzungsmarken (Abb. 31) scheinen auf ein meißelförmiges Instrument zurückzugehen.

Der Epicondylus lat. des linken Femur ist abgesprengt. Der rundliche Querschnitt der Verletzungsspuren spricht für ein stichelähnliches Werkzeug (Abb. 32). Die Verletzungsmarken wie auch die Bruchfläche verlaufen parallel zur Diaphysenlängsachse. Nach Gieseler (1953) wies der Kopf der linken Tibia lateral gleichfalls einen Defekt auf. Femur und Tibia wurden bei der Auffindung des Skeletes in Artikulationsstellung angetroffen (Klaatsch und Hauser, 1910). Man könnte aus diesen Verletzungen auf einen Exartikulationsversuch von Ober- und Unterschenkel schließen.

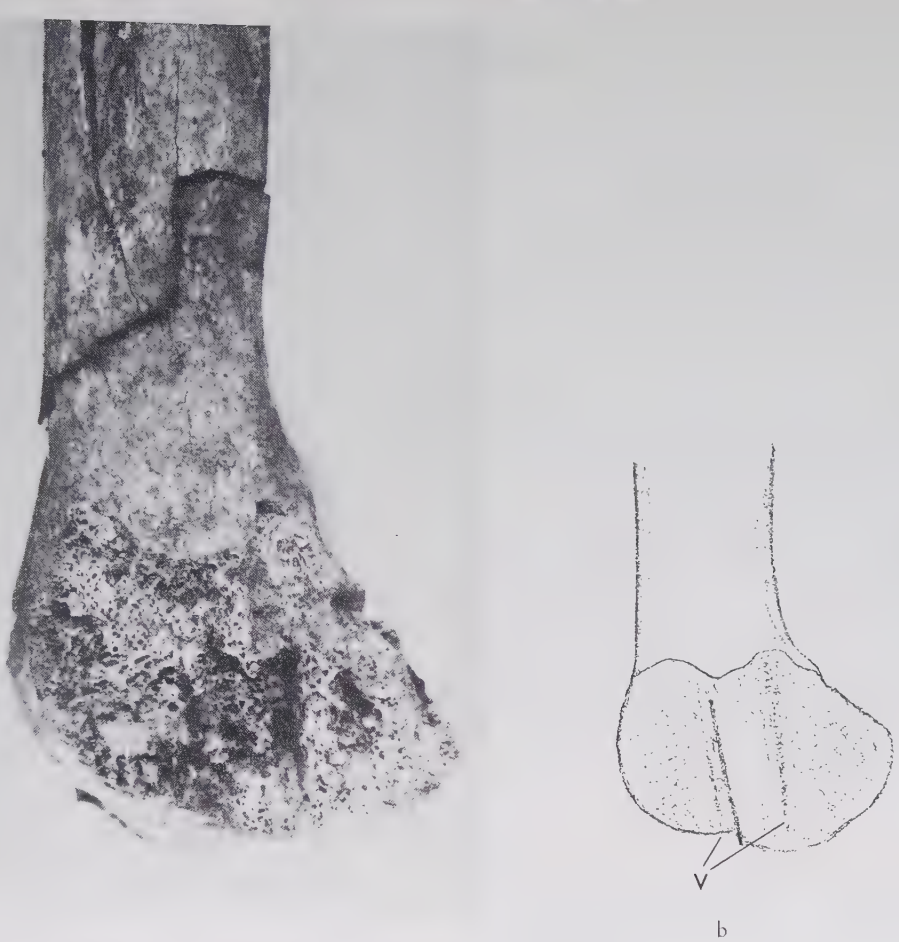
Am Fragment des rechten Hüftbeines ist die Region der Spina iliaca ant. inf. mit einem rundlichen Instrument entfernt worden (Abb. 33 a, b). Die Verletzung besteht aus einer ovalen Kerbe, die medial von einem scharfen Rand begrenzt ist, während sie lateral in eine ausgedehntere Bruchfläche ausläuft. Bei der zur Erzeugung dieser Verletzung notwendigen Kraft, es müssen immerhin erhebliche Sehnenpakete durchstoßen werden, ist verwunderlich, daß in der Umgebung der Marke keine Folgeverletzungen aufgetreten sind. Man könnte vermuten, das Instrument sei mit größerer Geschwindigkeit geführt worden, vielleicht von ventral (medial) her. Es wäre jedoch auch möglich, daß die Verletzung durch Sägebewegungen eines Werkzeuges mit breiter Klinge herbeigeführt wurde. In diesem Falle wäre das Instrument lateral angesetzt worden.

Schließlich verbleibt die Durchbohrung am linken ersten Metatarsale (Abb. 34 a, b). Die Durchbohrungsbegrenzung ist auf der medialen Seite beschädigt, die laterale Begrenzung ist nahezu unbeeinträchtigt erhalten. Sie hat



a b

Abb. 31 Verletzungen am rechten Oberschenkelkopf von Combe Capelle; Medialansicht (a); Schema zur Lage der Verletzungen (b)



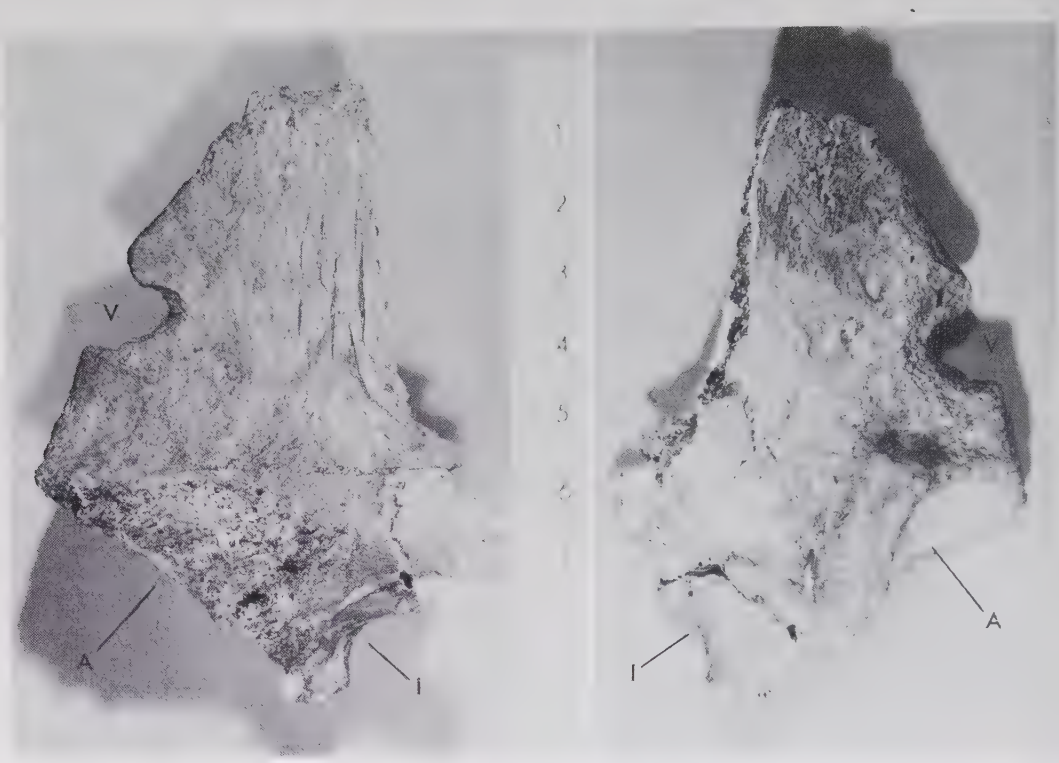
a b

Abb. 32 Verletzungen (v) des Epicond. lat. des linken Oberschenkels von Combe Capelle (a); 1:1; Schema zur Lage der Verletzungen (b)

unregelmäßig elliptische Form, mit einem Längendurchmesser von ca. 8 mm und ca. 6 mm Breitendurchmesser. Diese Form der Durchbohrung spricht für ein längliches Werkzeug mit unregelmäßigem Querschnitt.

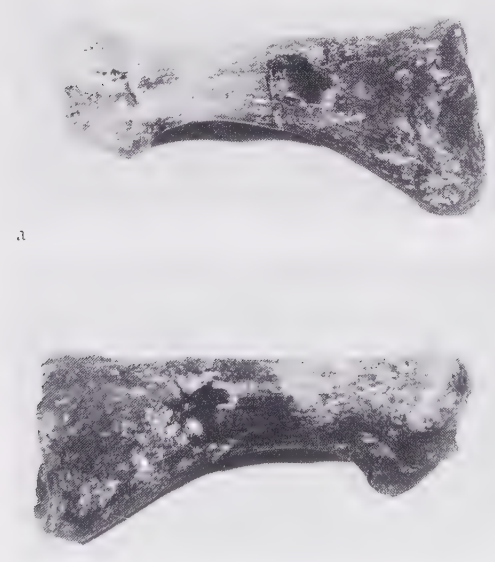
Die systematische Anordnung der Verletzungen spricht eindeutig gegen ihre zufällige Entstehung, wie auch die Lage und Art der Verletzungen etwa eine Selbstbeibringung ausschließen. Ob die Verletzungen intra vitam oder post mortem gesetzt wurden, ist nicht entscheidbar. Das Individuum hätte aber bei der Schwere der Verletzungen nicht überleben können, man bedenke nur die Durchtrennung der rechten Arteria femoralis und die Exartikulation des rechten Femur. Gieseler ist der Auffassung das Individuum von Combe Capelle sei gewaltsam zu Tode gekommen. Die Verletzungen könnten nur auf die Zerteilung des Leichnams bzw. das Zerlegen der einzelnen Körperabschnitte zurückgeführt werden, wobei man sich nicht lange mit anstehenden anatomischen Schwierigkeiten aufgehalten habe, sondern die Probleme mit Gewalt löste (Gieseler, 1953). Bezüglich der Zerteilung oder Zerlegung kann Gieseler beigepflichtet werden, weil die Verletzungen an beiden Femora in unmittelbarem Zusammenhang mit der Exartikulation des rechten Oberschenkels und dem offenbaren Exartikulationsversuch des linken Oberschenkels gesehen werden müssen. Auch die Schnittspuren am rechten Oberarm und die Kerbe am rechten Hüftbein könnten auf eine Zerteilung oder Abtrennung einzelner Muskelpakete zurückzuführen sein.

Man wird die Verletzungen sinnvoll nur mit der Anwendung massiver Gewalt in Ver-



a b

Abb. 33 Verletzung (V) am Fragment des rechten Hüftbeines von Combe Capelle. A = Acetabulum, I = Incisura ischiadica major; Medialansicht (a) und Lateralansicht (b)



a

b

Abb. 34 Durchbohrung am linken ersten Mittelfußknochen von Combe Capelle. (a) = Lateralansicht, (b) = Medialansicht

bindung bringen können. Für die paläolithischen Jäger war es aber eine ökonomische Notwendigkeit, eine erlegte Jagdbeute weidgerecht zu „zergliedern". Im Sinne dieses „Zergliederns" verfügten die damaligen Menschen sicher über vergleichend anatomische Kenntnisse, wie die alten Felsmalereien übrigens bezeugen. Diese Kenntnisse hätten die Anwendung massiver Gewalt bei der Zerteilung erübrigt. Die Annahme, mit Combe Capelle läge ein Fall von Anthropophagie vor, trägt, wie die Mehrzahl der kannibalistisch gedeuteten paläopathologischen Befunde (Helmuth, 1968), spekulative Züge. Da das Individuum von Combe Capelle unzweifelhaft bestattet wurde, könnte eine angenommenen Anthropophagie nur rituellen Charakter gehabt haben.

6. Zusammenfassung

1909 fand O. Hauser in den paläolithischen Schichten der Station Combe Capelle/Perigord (Frankreich) das Skelet eines 40- bis 50jährigen Mannes. Der Fund wurde unter dem

Namen „Homo Aurignaciensis Hauseri" als bedeutendes Zeugnis für den frühen westeuropäischen Homo sapiens bekannt. Das Königliche Museum für Völkerkunde zu Berlin kaufte das Skelet im Jahre 1910. 1945 wurde das Museumsgebäude bei einem Luftangriff beschädigt und brannte aus. Bis auf den Schädel, den man vorher ausgelagert hatte, fiel das Skelet von Combe Capelle dem Brand zum Opfer. Heberer und Kurth bargen die Reste des verbrannten postcranialen Skeletes 1955 aus dem Ruinenschutt. Von dem einst fast vollständigen postcranialen Skelet waren nur noch verbrannte Bruchstücke, Leichenbrand, vorhanden.

Die Leichenbranduntersuchung hat in den letzten Jahren beachtliche Fortschritte gemacht. Auf der Grundlage dieser neuen Erkenntnisse sind die verbrannten Skeletreste von Combe Capelle bearbeitet worden. Es sollte dabei vor allem geprüft werden, inwieweit die Ergebnisse der Erstbearbeitung des Skeletes durch Klaatsch und Hauser nachvollzogen werden können, um den Leistungsstand der modernen Leichenbrandanalyse zu demonstrieren.

Heberer und Kurth hatten aus dem Ruinenschutt nicht nur die Reste von Combe Capelle sondern auch diejenigen von mindestens 6 weiteren Skeleten geborgen. Aus diesem Material habe ich die Skeletreste von Combe Capelle herausgesucht und soweit wie möglich wieder hergestellt. Über den Vergleich mit Abgüssen des Skeletes von Combe Capelle war es möglich, einen Teil des Skeletmaterials als unzweifelhaft zu Combe Capelle gehörig zu identifizieren. Darüber hinaus konnten weitere Skeletteile mit Hilfe morphologischer Kriterien und des Spurenelementgehaltes als „wahrscheinlich zu Combe Capelle gehörig" bezeichnet werden.

Da Klaatsch und Hauser seinerzeit kein Verzeichnis der geborgenen Skeletelemente aufgestellt haben, wurde versucht, dies mit Hilfe von Literaturangaben nachzuholen. Die nach dem Brand erhalten gebliebenen Skeletreste wurden im Verzeichnis den ursprünglich vorhandenen gegenübergestellt. Aus den Brandresten konnten nahezu $^2/_3$ bis $^3/_4$ des postcranialen Skeletes wiederhergestellt werden. Die Bestimmung der Liegezeit des Skeletes, die wegen der neuerlichen Diskussion um das Alter der Fundschicht von Combe Capelle aufschlußreich wäre, läßt sich an den verbrannten Skeletresten gegenwärtig nicht durchführen.

Das Skelet von Combe Capelle ist vermutlich ca. 34 000 Jahre alt. Während dieser langen Liegezeit kam es zu Austauschreaktionen zwischen dem Knochenmineral und dem umgebenden Erdreich. Die Knochen waren wenigstens zu einem Teil fossiliert, als sie verbrannten. Aus diesem besonderen Schicksal ergeben sich gegenüber einem klassischen prähistorischen Leichenbrand unabschätzbare Unterschiede, da bei diesem die Knochen erst nach der Verbrennung den Bodeneinflüssen ausgesetzt sind. Es war daher zu klären, ob die wärmeinduzierten Veränderungen an den Knochen Combe Capelle mit denen prähistorischer und rezenter Leichenbränden übereinstimmen. Da in der Literatur kaum Angaben über die thermischen Umwandlungsreaktionen des Knochenminerals vorliegen, ist diesem Aspekt besondere Aufmerksamkeit gewidmet worden. Das Knochenmineral wird unter höheren Temperaturen in größere Kristalleinheiten umgelagert. Oberhalb einer Expositionstemperatur von 800–900° C tritt im Knochenmineral β-Tricalciumphosphat (Whitlockit) auf. Enthält ein Knochen Whitlockit, kann daraus auf eine thermische Behandlung oberhalb 800–900° C geschlossen werden. Prähistorische Leichenbrandknochen weisen z. T. einen erheblichen Whitlockitanteil auf. Da in den Knochen von Combe Capelle kein Whitlockit nachgewiesen werden konnte, liegt der Schluß nahe, die Verbrennungstemperatur von Combe Capelle habe 800–900° C nicht erreicht. Andererseits kann nicht ausgeschlossen werden, daß – aufgrund von Austauschreaktionen zwischen Knochenmineral und umgebenden Erdreich während der Liegezeit – bei Combe Capelle kein Whitlockit entstehen konnte, obwohl die Verbrennungstemperatur ausgereicht hätte.

Der Verbrennungsgrad von Combe Capelle ist nach dem Chochol-Schema als „vollkommen bis kreideartig" zu bezeichnen. Die Frage welche Härtegrade bei Leichenbrandfragmenten bestimmten Expositionstemperaturen entsprechen, konnte in einer Druckfestigkeitsuntersuchung nicht zufriedenstellend geklärt werden. Es bestehen jedoch Zweifel an der Auffassung, daß ein Knochen durch sehr hohe Temperaturen „überbrannt" werden könne.

Die thermisch bedingten Veränderungen der Knochenstruktur wurden an Bruchflächen von

Femurdiaphysen untersucht. Raster-Elektronenmikroskopische Aufnahmen belegen, daß das Knochenmineral bei hohen Hitzegraden teilweise schmilzt und sich zu größeren Einheiten zusammenschließt (*Sinterung*). Die nach Röntgenstrukturanalysen verbrannter Knochen seit langem postulierte Fusion von Mineralkristallen konnte damit belegt werden. Prähistorische Leichenbrände zeigen die gleichen Strukturen wie hochgeglühte rezente Kontrollobjekte, weshalb für prähistorische Leichenbrände vergleichbare Verbrennungsbedingungen anzunehmen sind. Die untersuchten Proben von Combe Capelle weisen einen Sintergrad auf, der dem prähistorischer Leichenbrände entspricht.

Infolge der thermisch bedingten Strukturveränderungen ändert sich das polarisationsoptische Verhalten des Knochens. Oberhalb einer Expositionstemperatur von 500° C tritt an Knochenschliffen kein Brewster-Effekt mehr auf. Demzufolge eignet sich die polarisationsoptische Untersuchung von Knochenschliffen zum Nachweis einer thermischen Behandlung.

Sehr wahrscheinlich sind spezifische Wärmedeformationen und Hitzerisse davon abhängig, ob eine Leichenverbrennung oder eine Skeletverbrennung vorliegt. Die Wärmedeformationen und Hitzerisse von Combe Capelle entsprechen denen, die bei einem Skeletbrand zu erwarten sind.

Es konnte gezeigt werden, daß die Wärmeschrumpfung des Knochens nur zu einem kleinen Teil auf den Verlust von Wasser und organischer Substanz beim Brand zurückgeht. Der Schrumpfungsbetrag hängt vor allem von der Knochenstruktur, der stofflichen Zusammensetzung und der auf den Knochen wirksamen Wärmemenge ab. Die Hauptursache der Schrumpfung ist die Sinterung. Sie tritt im Verbrennungsversuch bei Temperaturen um 700–800° C auf, wobei der Knochen seinen maximalen Schrumpfungsbetrag erreicht, bei weiterer Temperaturerhöhung erfolgt keine Schrumpfung mehr.

Die Strukturuntersuchungen zeigten, daß prähistorische Leichenbrandknochen einen umfassenden Sintergrad aufweisen. Daraus ergeben sich für prähistorische Leichenbrände die gleichen Schrumpfungsbeträge wie für im Ofen geglühte rezente Kontrollobjekte. Da Combe Capelle einen Sintergrad aufweist, der dem prähistorischer Leichenbrände entspricht, konnte bei Combe Capelle mit vergleichbaren Schrumpfungsbeträgen gerechnet werden. Tatsächlich entsprechen die Beträge bei Combe Capelle den Erwartungswerten recht gut. Z. T. liegen sie etwas niedriger, was vermutlich auf eine Abdeckung der betreffenden Skeletelemente durch Schutt während des Brandes zurückzuführen ist.

Aus den Untersuchungen über das allgemeine Verhalten von Knochen bei höheren Temperaturen ging hervor, daß die Wärmeveränderungen an den Skeletresten von Combe Capelle den Wärmeveränderungen an Knochen prähistorischer Leichenbrände entsprechen. Die Brandreste von Combe Capelle konnten daher ohne Einschränkungen mit den Methoden der Leichenbrandanalyse untersucht werden.

Auf die Geschlechts- und Altersdiagnose wirkte sich das Fehlen von Schädelresten erschwerend aus. Das Geschlecht konnte mit Hilfe der Wandstärke der Oberarme und Oberschenkel, den Abmessungen der Humerusköpfe sowie den erhaltenen Resten des Beckens als „wahrscheinlich männlich" bestimmt werden. Die Altersdiagnose am Symphysenrelief des rechten Schambeines sowie der proximalen Markhöhle des rechten Oberschenkels ergab ein spätadultes bis frühmatures Sterbealter. Diese Diagnose wurde größenordnungsmäßig durch histologische Untersuchungen von Diaphysenschliffen bestätigt. Die nach den Methoden der Leichenbranduntersuchung berechnete Körperhöhe von Combe Capelle betrug wahrscheinlich 158.5 bis 162.5 cm.

Diese Resultate entsprechen den Angaben der Erstbearbeiter. Klaatsch und Hauser (1910) bezeichneten Combe Capelle als 40- bis 50-jährigen Mann mit einer wahrscheinlichen Körperhöhe von 160 cm.

Als pathologische Bildungen ließen sich bei Combe Capelle lediglich geringe Aufbrauchserscheinungen im Bereich der Lendenwirbelsäule feststellen.

Da Klaatsch und Hauser die Verletzungsmarken an Combe Capelle praktisch unbeachtet ließen, wurden die Verletzungen ausführlich beschrieben und beurteilt. Sie sind durch Schneidwerkzeuge und meißel- bzw. pfriemartige Instrumente verursacht worden. Betroffen sind der rechte Oberarm, beide Oberschenkel, ein Beckenfragment und ein Mittelfußknochen. Die Verletzungen beruhen

sehr wahrscheinlich auf einer Zerteilung des Leichnams. Auffällig ist, daß es dabei zur Anwendung massiver Gewalt kam, die über das anatomisch notwendige hinausging. Als Grund für die Zerteilung könnte mit Gieseler ritueller Kannibalismus angenommen werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Untersuchung der verbrannten Skeletreste von Combe Capelle eine gute Übereinstimmung mit dem Befund der Erstbearbeitung durch Klaatsch und Hauser. Das Resultat sollte jedoch nicht über noch offene Probleme in der Leichenbranduntersuchung hinwegtäuschen. Dies gilt besonders für das Problem der Zuordnung zu einer bestimmten Population.

In der Diskussion der Diagnoseverfahren wurde auf besondere Schwierigkeiten aufmerksam gemacht, um so die gegenwärtige Aussagequalität wie die Leistungsgrenzen der Leichenbranduntersuchung zu verdeutlichen. Verbesserte Aussagemöglichkeiten werden sich künftig durch den intensiven Einsatz neuer Methoden, wie z. B. der Mikroradiographie, ergeben.

7. Literaturverzeichnis

Acta 1
„Acta betreffend die Beschaffung privater Mittel zur Erwerbung d. Hauser'schen Skelette, Vol. 1, Pars I A. 18."

Acta 2
„Acta betreffend die Erwerbung zweier Skelette von O. Hauser, Vol. 2, vom 2. 11. 1909 bis Ende 1911, Pars I A. 18."

Acta 3
„Acta betreffend die Erwerbung zweier Skelette von O. Hauser, Vol. 3, vom 1. 1. 1912 bis . . ., Pars I A. 18." – Akten des Königlichen Museums für Völkerkunde; jetzt im Museum für Vor- und Frühgeschichte, Staatliche Museen, Stiftung Preußischer Kulturbesitz, Berlin, Schloß Charlottenburg

Amprino, R. (1952)
„Further experiments on the fixation in vitro of radio-calcium to sections of bone" – Experientia 9 : 380–382

Amprino, R. (1958)
„Investigations on some physical properties of bone tissue" – Acta Anatomica 34 : 161–186

Amprino, R. (1961)
„Microhardness testing as a means of bone tissue biophysical properties" – in F. G. Evans (ed.) „Biomechanical studies of the musculoskeletal system" : 20–48; Thomas, Springfield

Amprino, R. (1970)
„Biological bases of the radioisotope investigation of the skeleton" – in L. Diethelm (ed.) „Handbuch der Medizinischen Radiologie" 4 (1) : 784–847; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Amprino, R. und A. Engström (1952)
„Studies on x ray absorption and diffraction of bone tissue" – Acta Anatomica 15 : 1–22

Andersen, G. H.; F. Graber; V. Guinn; H. Lukens; D. Settle (1967)
„Photonuclear activation analysis of biological materials for various elements, including fluorine" – Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences : 99–113, International Atomic Energy Agency, Wien

Anderson, H. J. (1957)
„Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten von Knochen beim Verbrennen" – ungedr. Semestralarbeit; Anthropologisches Institut der Universität Kiel

Aner, U. (1972)
„Zur anthropologischen Untersuchung eisenzeitlicher Urnenfriedhöfe" – Informationsblätter zu Nachbarwissenschaften der Ur- und Frühgeschichte, Schriften des Schleswiger Kreises, Anthropologie 2 : 1–9; Habelt, Bonn

Arnold, J. S.; M. Bartley; S. Tont; D. Jenkins (1966)
„Skeletal changes in aging and diseases" – Clin. Orthoped. 49 : 17–38

Ascenzi, A. und G. H. Bell (1972)
„Bone as a mechanical engineering problem" – in G. H. Bourne (ed.) „The Biochemistry and Physiology of Bone" Vol. 1 : 311–352; Academic Press, New York, London; 2nd. Ed.

Asmus, G. (1964)
„Kritische Bemerkungen und neue Gesichtspunkte zur jungpaläolithischen Bestattung von Combe Capelle/Perigord" – Eiszeitalter und Gegenwart 15 : 181–186

Baby, R. S. (1954)
„Hopewell cremation practices" – The Ohio Historical Society, Papers in Archeology 1 : 1–7, 2nd printing 1966

Bandi, G. und I. Nemeskeri (1971)
„Das bronzezeitliche Gräberfeld von Környe-Facankert" – Alba Regia 11 : 7–34

Bass, W. M. (1969)
„Recent developments in the identification of human skeletal material" – Am. J. Phys. Anthrop. 30 : 459–462

Bassett, C. A. (1966)
„Electro-mechanical factors regulating bone architecture" – in H. Fleisch, J. Blackwood, M. Owen (ed.) „Calcified Tissue 1965" : 78–89; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Bate, L. C. und F. F. Dyer (1965)
„Trace elements in human hair" – Nucleonics 23 : 74–81

Baud, Ch.-A. und P. W. Morgenthaler (1956)
„Recherches sur le degré de mineralisation de

l'os humain fossile par la methode microradiographique" – Arch. Suisse d'Anthropologie Generale 21 : 79–86

Becker, R. O.; J. Spadaro; E. Berg (1968)
„The trace elements of human bone" – J. Bone Joint Surg. 50-A : 326–334

Berg, S. (1964)
„Die Altersbestimmung von Skelettfunden als forensische und archäologische Aufgabe" – Münchner Med. Wochenschrift 106 : 989–995

Berg, S. (1967)
„Florensische Spurenkunde" – in A. Ponsold (ed.) „Lehrbuch der Gerichtlichen Medizin" : 477–508; Thieme, Stuttgart, 3. Auflage

Berg S. und W. Specht (1958)
„Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen" – Dtsch. Z. ger. Mediz. 47 : 209–241

Binford, L. R. (1963)
„An analysis of cremations from three Michigan sites" – Wisconsin Archeologist 44 : 98–110

Bischoff, Th. L. (1850)
„Zusätze und Bemerkungen zu der Abhandlung des Herrn Med.-Direktor Dr. Graff zu Darmstadt über die Todesart der Gräfin von Görlitz, mit besonderem Hinblick auf die Lehre von der Selbstverbrennung" – Henke's Z. Staatsarzneikunde 60 : 162–210

Blumberg, J. M. und E. Kerley (1966)
„A critical consideration of roentgenology and microscopy in palaeopathology" – in S. Jarcho (ed.) „Human Palaeopathology" : 150–170; Yale Univ. Press, New Haven, London

Bourne, G. H. (ed.) (1972)
„The Biochemistry and Physiology of Bone", Academic Press, New York, 2nd Edition

Bowler, J. M.; R. Jones; A. Allen; A. Thorne (1970)
„Pleistocene human remains from Australia: a living site and human cremation from Lake Mungo, Western New South Wales" – World Archeology 2 : 39–60

Boyde, A. (1972)
„Scanning electron microscope studies of bone" – in G. H. Bourne (ed.) „The Biochemistry and Physiology of Bone" 1 : 259–310; Academic Press, New York

Boyde, A. und M. H. Hobdell (1969)
„Scanning electron microscopy of lamellar bone" – Z. Zellforsch. 93 : 213–231

Brätter, P.; H. Gessner; B. Herrmann; J. Lausch; U. Rösick (in Vorbereitung)
„Spurenelementbestimmung im Knochen eines prähistorischen Menschenskeletes mit Hilfe der instrumentellen Neutronen-Aktivierungs-Analyse"

Breitinger, E. (1939)
„Die Brandreste aus den protogeometrischen Amphoren" – in W. Kraiker und K. Kübler „Kerameikos" Vol. 1 : 257–261, Berlin

Breitinger, E. (1954)
„Das Brandknochengemenge von Dauborn" – Nassauische Annalen 65 : 48–61

Brooks, Sh. T. (1955)
„Skeletal age at death: reliability of cranial and pubic age indicators" – Am. J. Phys. Anthrop. 13 : 567–597

Brothwell, D. (1965)
„Digging up Bones" – Trustees of The British Museum (Nat. Hist.), London

Brown, W. E. (1966)
„Crystal growth of bone mineral" – Clinical Orthoped. 44 : 205–220

Bryan, D. E.; V. Guinn; D. Settle (1967a)
„Activation analysis of biological samples of forensic interest" – Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences : 681–694, International Atomic Energy Agency, Wien

Bryan, D. E.; V. Guinn; D. Settle (1967b)
„High-flux neutron activation analysis as an investigative tool in the field of criminalistics" – in S. Yafsky (ed.) „Law Enforcement Science and Technology" Vol. 1 : 371–377; Thompson, Academic Press

Bürger, L. (1914)
„Die histologische Untersuchung verbrannter Knochen im auffallenden Licht" – Vjschr. ger. Med. öff. San.-Wes. 47, 3. F, Suppl. : 328–334

Buess, H. und H. Koelbing (1964)
„Kurze Geschichte der ankylosierenden Spondylitis und Spondylose" – Documenta Geigy, Acta rheumatologica 22, Basel

Buikstra, J. (im Druck)
„Technique and interpretation in the study of a complex cremation site" in „The Perrins Ledge Report", Reports of Investigations, Illinois State Museum, 23, Springfield, Ill.

Burnett, G. W. und J. A. Zenewitz (1958)
„Studies on the composition of teeth VIII. The moisture content of calcified tooth tissues" – J. dent. Res. 37 : 581–589

Cameron, A. D. (1963)
„The fine structure of bone and calcified cartilage" – Clinical Orthoped. 26 : 199–228

Campbell, B. (1963)
„Quantitative taxonomy and human evolution" – in S. L. Washburn (ed.) „Classification and Human Evolution" : 50–74; Aldine, Chicago

Catel, W. und H. Kern (1972)
„Bedeutung der Gefügekunde für das Verständnis organischer Strukturen" – Naturwiss. Rundschau 25 : 296–306

Chapman, F. H. (1972)
„Vertebral osteophytosis in prehistoric populations of Central and Southern Mexico" – Am. J. Phys. Anthrop. 36 : 31–38

Chochol, J. (1961)
„Anthropologische Analyse der menschlichen Brandreste aus den Lausitzer Gräberfeldern in

Usti nad Labem-Strekov II und in Zirovice" – Monumenta archaeologica 8 : 273–290

Coleman, R. F.; F. Cripps; A. Stimson; H. Scott (1967)
„The trace-element content of human head hair in England and Wales, and the application to forensic science" – Proc. First Int. Conf. Forensic Activation Analysis, V. P. Guinn (ed.) : 203–219; General Atomic Report GA – 8171; San Diego

Dämmrich, K. (1963)
„Pathologie der Haversschen Kanäle bei generalisierten Skeletterkrankungen der Haustiere" – Verh. Dtsch. Ges. f. Pathologie 47 : 194–198

Dallemagne, M. J. (1964)
„Le calcium dans le squelette et les dents" – in Z. M. Bacq (ed.) „Handbuch der experimentellen Pharmakologie" 17 (2) : 273–482; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Depreux, R. und P. Muller (1952)
„Le coefficient de réductions de longeur des os de foetus après calcination" – Ann. Méd. Lég. Criminol. 32 : 149–154

Dickerson, J. W. (1962)
„Changes in the composition of the human femur during growth" – Biochem. J. 82 : 56–61

Dijkstra, B. K. S. (1938)
„Die Skelettreste aus dem Kreisgrabenfriedhof von Sleen, Prov. Drente" – Mannus 30 : 548–561

Doberenz, A. R. und R. Wyckoff (1967)
„Fine structure in fossil collagen" – Proc. Nat. Acad. Sciences 57 : 539–541

Добряк, В. И. (1969)
„К вопросу об исследовании сожженных костей" – Вопросы Антропологии 33 : 144–151

Dokladal, M. (1963)
„Ein Beitrag zur Identifikation von Leichenbränden" – Anthropos N. S. 7 : 29–38

Dokladal, M. (1969)
„Über die heutigen Möglichkeiten der Personenidentification auf Grund von verbrannten Knochen" – Aktuelle Kriminologie : 223–246; Kriminolog. Verlag, Hamburg

Dokladal, M. (1970)
„Ergebnisse experimenteller Verbrennungen zur Feststellung von Form- und Größenveränderungen von Menschenknochen unter Einfluß von hohen Temperaturen" – Anthropologie 8 (2) : 3–17

Dokladal, M. (1971)
„A further contribution to the morphology of burned human bones" – Proc. Xth Congr. Czechoslovak Anthropologists (ded. to Aleš Hrdlicka), Humpolec, : 561–568, Praha

Dulce, H. J. (1970)
„Biochemie des Knochens" – in L. Diethelm (ed.) „Handbuch der Medizinischen Radiologie" 4 (1) : 12–105; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Dzierżykray-Rogalski, T. und E. Prominska (1962)
„Szczątki kostne jaćwingów z grobów ciałopalnych na cmentarzysku kurhanowym w Osowej, Pow." – Materialy i Prace Antropologiczne 61 : 47–61

Eanes, E. D.; I. Gillessen; A. Posner (1965)
„Intermediate states in the precipitation of hydroxyapatite" – Nature 208 : 365–367

Eanes, E. D.; R. Harper, I. Gillessen; A. Posner (1966)
„An amorphous component in bone mineral" – in „Fourth Europ. Symp. on Calcified Tissues", Excerpta Medica : 24–26, Amsterdam

Eanes, E. D. und A. S. Posner (1969)
„The formation and structure of bone mineral" – in H. Schraer (ed.) „Biological Calcification: Cellular and Molecular Aspects", Appleton-Croft, New York

Engström, A. (1965)
„X-ray diffraction studies on the apatite-collagen complex" – IV[e] congrès international sur l'optique des rayons X et la microanalyse, Orsay, Septembr. 1965 : 630–635, Paris

Engström, A. (1970)
„Microradiography of normal bone" – in L. Diethelm (ed.) „Handbuch der Medizinischen Radiologie" 4 (1) : 296–316; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Engström, A. (1972)
„Aspects of the molecular structure of bone" – in G. H. Bourne (ed.) „The Biochemistry and Physiology of Bone" Vol. 1 : 237–257, Academic Press, New York, 2nd Ed.

Engström, A. und J. B. Finean (1953)
„Low-angle x-ray diffraction of bone" – Nature 171 : 564

Engström, A. und R. Zetterström (1951)
„Studies on the ultrastructure of bone" – Experimental Cell Res. 2 : 268–274

Enlow, D. H. (1966)
„An evaluation of the use of bone histology in forensic medicine and anthropology" – in F. G. Evans (ed.) „Studies on the Anatomy and Function of Bone and Joints" : 93–112; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Evans, F. G. (1958)
„Relations between the microscopic structure and tensile strength of human bone" – Acta Anatomica 35 : 285–301

Evans, F. G. (1967)
„Difference and relationship between the physical properties and the microscopic structure of human femoral, tibial and fibular cortical bone" – Am. J. Anat. 120 : 79–88

Evans, F. G. (1969)
„The mechanical properties of bone" – Artifical Limbs 13 : 37–48

Evans, F. G. und Ch. Goff (1957)
„A comparative study of the primate femur by means of the stresscoat and the split-line techniques" – Am. J. Phys. Anthrop. 15 : 59–89

Eymann, Ch. (1966)
„Ultraviolet fluorescence as means of skeletal identification" – American Antiquity 31 : 109–112

Freitag, V.; W. Oelschläger; K. Loeffler, F. Heuck (1971)
„Mikroradiographische Untersuchungen bei Knochenfluorose – Ein Beitrag zur Diagnostik der Initialstadien der Fluorose" – Dtsch. Zahnärzt. Z. 26 : 389–393

Frost, H. M. (ed.) (1964)
„Bone Biodynamics" – Little, Brown und Co., Boston

Frost, H. M. (1966)
„Morphometry of bone in palaeopathology" – in S. Jarcho (ed.) „Human Palaeopathology" : 131–150; Yale Univ. Press, New Haven und London

„Führer . . .
„Führer durch die Vorgeschichtliche Abteilung" – Königliche Museen zu Berlin, 1913, Georg Reimer, Berlin

Gagel, C. (1922)
„Die Urzeit des Menschengeschlechts" – Das Werk, Monatsblätter der Siemens-Rheinelbe-Schuckert-Union (Montangruppe) 2 : 138–152, Düsseldorf

Gejvall, N.-G. (1947)
„Bestämning av brända ben från forntida gravar" – Fornvännen 42 : 39–47

Gejvall, N.-G. (1960)
„Westerhus. Medieval Population and Church in the Light of Skeletal Remains" – Lund

Gejvall, N.-G. (1963)
„Cremations" – in D. Brothwell und E. Higgs (ed.) „Science in Archeology" : 379–390; Thames und Hudson, London

Genoves, S. (1963a)
„Sex determination in earlier man" – in D. Brothwell und E. Higgs (ed.) „Science in Archeology" : 343–352; Thames und Hudson, London

Genoves, S. (1963b)
„Estimation of age and mortality" – in D. Brothwell and E. Higgs (ed.) „Science in Archeology" : 353–364; Thames und Hudson, London

van Gerven, D. P. (1972)
„The contribution of size and shape variation to patterns of sexual dimorphism of the human femur" – Am. J. Phys. Anthrop. 37 : 49–60

Gieseler, W. (1952)
„Schädelverletzungen, Kannibalismus und Bestattungen im europäischen Paläolithikum" – Aus der Heimat 60 : 161–173

Gieseler, W. (1953)
„Das jungpaläolithische Skelett von Neuessing" – Aus der Heimat 61 : 161–174

Gindhart, P. (1969)
„The frequency of appearence of transverse lines in the tibia in relation to childhood illness" – Am. J. Phys. Anthrop. 31 : 17–22

Gładykowska-Rzeczycka, J. (1971)
„Morphological analysis of bones from crematory cemetaries of the population of the East Pomoranian Culture in Gdansk, Pomerania" – Folia Morphologica 30 : 129–147

Gordon, I. und M. Drennan (1948)
„Medico-legal aspects of the Wolkersdorfer case" – S. A. Medical J. 22 : 543–549

Graff, J. A. (1850)
„Medizinisch-gerichtliche Verhandlungen, die Todesart der halbverbrannt gefundenen Gräfin von Görlitz betreffend" – Henke's Z. Staatsarzneikunde 59 : 392–450

Gralla, G. (1964)
„Próba rekonstrukcji wzrostu ze szczątków ciałopalnych" – Materialy i Prace Antropologiczne 70 : 95–98

Grimm, H. (1959)
„Vorgeschichtliches, frühgeschichtliches und mittelalterliches Fundmaterial zur Pathologie der Wirbelsäule" – Nova Acta Leopoldina N. F. 21 (142)

Grimm, H. (1964)
„Welche Aussagen gestattet die anthropologische Untersuchung von Leichenbränden" – in G. Behm-Blancke (ed.) „Aus Ur- und Frühgeschichte (Naturwissenschaftliche Forschungsmethoden und gesellschaftswissenschaftliche Aussage)" : 35–42; Academie Verlag, Berlin

Guinn, V. P. (1967)
„A-state-of-the-art report on forensic activation analysis" – in S. Yafsky (ed.) „Law Enforcement Science and Technology" Vol. 1 : 379–384; Thompson, Academic Press

Guinn, V. P. (1970a)
„Forensic neutron activation analysis" – in T. D. Stewart (ed.) „Personal Identification in Mass Disasters" : 25–35; Smithsonian Institution, Washington

Guinn, V. P. (1970b)
„A forensic activation analysis bibliography" – Gulf General Atomic GA-9912; San Diego

Häusler, A. (1966)
„Zum Verhältnis von Männern, Frauen und Kindern in Gräbern der Steinzeit" – Arbeits- und Forschungsberichte der sächsischen Bodendenkmalspflege 14/15 : 25–73

Hansen, G. (1953/54)
„Die Altersbestimmung am proximalen Humerus- und Femurende im Rahmen der Identifizierung menschlicher Skeletreste" – Wiss. Z. Humboldt Univ. Berlin, Mat.-Nat. R. 3 : 1–73

Harper, R. A. und A. S. Posner (1966)
„Measurement of non-crystalline calcium phosphate in bone mineral" – Proc. Soc. exp. Biology 122 : 137–141

Haury, E. (1945)
„The excavation of Los Muertos and neighboring ruins in the Salt River Valley, Southern Arizona" – Papers Peabody Museum of American Archeology and Ethnology 24 (1), Harvard University

Hayek, E. (1967)
„Die Mineralsubstanz des Knochens" – Naturwiss. Rundschau 20 : 112–113

Hayek, E. und H. Newesely (1958)
„Über die Existenz von Tricalciumphosphat in wäßriger Lösung" – Monatshefte für Chemie 89 : 88–95

Heberer, G. (1957)
„Bericht über die Bergung der Skelettreste von Combe Capelle und Le Moustier aus dem Brandschutt des Berliner Museums für Vor- und Frühgeschichte" – Ber. 5. Tagung Dtsch. Ges. Anthropologie 1956, Homo Suppl. : 67–72

Helelä, T. (1969)
„Radiographic measurements of the human long bones. Studies on age induced changes and mineral content" – Dpt. Radiology, University Hospital Turku

Helmuth, H. (1968a)
„Körperhöhe und Gliedmaßenproportionen der Australopithecinen" – Z. Morph. Anthrop. 60 : 147–155

Helmuth, H. (1968b)
„Kannibalismus in Paläanthropologie und Ethnologie" – Ethnographisch-Archäol. Z. 9 : 101–119

Helmuth, H. und U. Rempe (1968)
„Über den Geschlechtsdimorphismus des Episthropheus beim Menschen" – Z. Morph. Anthrop. 59 : 300–321

Herrmann, B. (1970)
„Anthropologische Bearbeitung der Leichenbrände von Berlin-Rudow" – Ausgrabungen in Berlin 1 : 78–88

Herrmann, B. (1971)
„Anmerkungen zur Bergung von Leichenbränden anläßlich der anthropologischen Bearbeitung von Berliner Urnenfriedhöfen" – Ausgrabungen in Berlin 2 : 61–71

Herrmann, B. (1972)
„Zur Beurteilung von Kohlenstoffverfärbungen bei Leichenbränden" – Ausgrabungen und Funde 17 : 275–277

Herrmann, B. (1973)
„Möglichkeiten histologischer Untersuchungen an Leichenbränden" – Mitt. Berliner Ges. Anthrop. Ethnol. Urgesch. 2 : 164–167

Heuck, F. (1965)
„Neue Ergebnisse der Microradiographie bei Systemerkrankungen des Skelets" – Verh. Dtsch. Ges. inn. Mediz. 71 : 597–607

Heuck, F. (1970a)
„Die radiologische Erfassung des Mineralgehaltes des Knochens" – in L. Diethelm (ed.), Handbuch der Medizinischen Radiologie 4 (1) : 106–295; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Heuck, F. (1970b)
„Microradiographische Befunde zur Biodynamik des Knochens" – Röntgen Blätter 23 (12) : 1–12

Heuck, F. (1971)
„Investigations of high density areas in metabolic bone diseases" – Israel J. Med. Sc. 7 : 477–480

Hesse, H. und H. Ullrich (1966)
„Schädel des ‚Homo mousteriensis Hauseri' wiedergefunden" – Biologische Rundschau 4 : 158–160

Hiness, R. (1968)
„Untersuchungen zur Mineralgehaltsbestimmung von Knochen" – Med. Diss. Tübingen

Hitzig, I. E und W. Häring (= W. Alexis) (1860)
„Der Neue Pitaval" – 17 : 143–358 „Die Gräfin von Görlitz und ihr Diener", Brockhaus, Leipzig

Hofmann, E. (1875)
„Beobachtungen an verbrannten Leichenteilen" – Wiener med. Wochenzeitschrift 25 (19) : 393–396; (20) : 420–424

Huizinga, J. (1952)
„In dubiis obstine – Bemerkungen zur anthropologischen Untersuchung verbrannter Körper" – Proc. State Serv. Archeological Investigations in the Netherlands 3 : 35–41

Hunziker, O.; E. del Pozo; D. Wiesinger; W. Meier-Ruge (1972)
„Die Anwendung des Leitz-Classimat in der quantitativen Histomorphologie und in der experimentellen Pathologie" – Leitz Mitt. Wissenschaft und Technik, Suppl. 1 (2) : 51–55

Jastrowitz, M. (1880)
„Über den Tod durch Verbrennen vom gerichtsärztlichen Standpunkte aus" – Vjschr. ger. Mediz. 32 : 1–35

Jelinek, J. (1959)
„Bestattung und Skelettmaterial" – in J. Jelinek, J. Peliśek, K. Valoch „Der fossile Mensch Brno II" Anthropos N. S. 1 : 17–22

Jit, I. und S. Singh (1966)
„The sexing of the adult clavicles" – Ind. J. Med. Res. 54 : 551–571

De Jong, W. F. (1926)
„La substance minérale dans les os" – Rec. Travaux chimiques de Pays Bas 45 : 445–448

Jowsey, J. (1960)
„Age changes in human bone" – Clinical Orthoped. 17 : 210–218

Jowsey, J. (1964)
„Variations in bone mineralization with age and disease" – in H. M. Frost (ed.) „Bone Biodynamics" : 461–479; Little, Brown und Co., Boston
Keen, E. N. (1953)
„Estimation of stature from long bones" – J. Forensic Medic (Cape Town) 1 : 46–51
Kellner, H. O. (1957)
„Untersuchungen zur röntgenologischen Altersbestimmung am proximalen Humerusende" – Med. Diss. Bonn
Kerley, E. R. (1965)
„The microscopic determination of age in human bone" – Am. J. Phys. Anthrop. 33 : 149–164
Kerley, E. R. (1970)
„Estimation of skeletal age: after about age 30" – in T. D. Stewart (ed.) „Personal Identification in Mass Disasters" : 57–70; Smithsonian Institution, Washington
Kernd'l, A. (1971)
„Vorbericht über ein früheisenzeitliches Urnengräberfeld auf dem Mühlenberg, Berlin-Lübars" – Ausgrabungen in Berlin 2 : 70–77
Kiszely, I. (1969a)
„Derivatographische Untersuchungen an subfossilem Knochenmaterial" – Wiss. Z. Humboldt Univ. Berlin, Math.-Nat. R. 18 : 981–987
Kiszely, I. (1969b)
„Derivatographic research of subfossile bones" – A Mora Ferenc Muzeum Evkönyve 1969 (2) : 217–224
Kiszely, I. und P. David (1969)
„Absolute Altersbestimmung subfossiler Knochen" – Z. Morph. Anthrop. 60 : 297–304
Klaatsch, H. (1910)
„Die Aurignac-Rasse und ihre Stellung im Stammbaum der Menschheit" – Z. f. Ethnologie 42 : 513–577
Klaatsch, H. und O. Hauser (1910)
„Homo Aurignaciensis Hauseri" – Prähistorische Z. 1 (3/4) : 273–338
Klaatsch, H. und W. Lustig (1914)
„Morphologie der palaeolothischen Skeletreste des mittleren Aurignacien der Grotte La Rochette, Dep. Dordogne" – Arch. Anthrop. N. F. 13 : 81–129
Klapproth, H. J. (1954)
„Zur Theorie der fixierten Extremitätenversetzung bei Hitzeschrumpfleichen" – Dtsch. Z. ger. Mediz. 43 : 428–438
Klement, R. (1937)
„Neue Untersuchungen über die anorganischen Knochen- und Zahnsubstanz und ihre Synthese" – Klinische Wochenschr. 16 : 591–593
Kloiber, A. (1953)
„Die Skelettreste aus dem römerzeitlichen Brandgräberfeld in der Wurmstraße (Kreuzschwestern)" – Jahrbuch der Stadt Linz 1952 : 491–538
Knese, K.-H. (1970a)
„Mechanik und Festigkeit des Knochengewebes" – in L. Diethelm (ed.) „Handbuch der Medizinischen Radiologie" 4 (1) : 417–539; Springer, Berlin, Heidelberg, New York
Knese, K.-H. (1970b)
„Struktur und Ultrastruktur des Knochengewebes" – in L. Diethelm (ed.), Handbuch der Medizinischen Radiologie 4 (1) : 317–416; Springer, Berlin, Heidelberg, New York
Knight, B. und I. Lauder (1969)
„Methods of dating skeletal remains" – Human Biology 41 : 322–341
Kopfleisch (1875)
„Thüringische und schlesische Funde" Z. f. Ethnologie 7 : (41)–(42)
Kraul, U. (1963)
„Untersuchungen über die gegenseitigen Beziehungen einiger Maße des menschlichen Oberschenkelknochens als Beitrag zur Beurteilung von sogenannten Leichenbränden" – Med. Diss. Humboldt Univ. Berlin
Krogman, W. M. (1962)
„The Human Skeleton in Forensic Medicine" – Thomas, Springfield
Krumbein, C. (1934)
„Anthropologische Untersuchungen an urgeschichtlichen Leichenbränden" – Forschungen und Fortschritte 33 : 411–412
Kruse, H. D.; M. Schmidt; E. McCollum (1934)
„Studies on magnesium deficiency in animals" – V. J. Biol. Chem. 106 : 553–572
Kühl, I. (1966)
„Beobachtungen an vorgeschichtlichen Leichenbränden aus Schleswig-Holstein" – Offa 23 : 130–140
Kummer, B. (1959)
„Biomechanik des Säugetierskeletes" – Handbuch der Zoologie 8 (24) : 1–80; De Gruyter, Berlin
Kummer, B. (1962)
„Funktioneller Bau und funktionelle Anpassung des Knochens" – Anat. Anz. 111 : 261–293
Kurth, G. (1954)
„Einige Probleme der Körperhöhenbestimmung aus den langen Gliedmaßenknochen" – Homo 5 : 170–178
Laser, R. (1960)
„Die spätkaiserzeitlichen Brandgräber zwischen Saale und Fläming" – Phil. Diss. Leipzig (ungedr.); zit. nach Chr. Müller (1964)
Lengyel, I. und J. Nemeskeri (1964)
„Application of biochemical methods to biological reconstruction" – Z. Morph. Anthrop. 54 : 1–56
Lengyel, I. (1968)
„Biochemical aspects of early skeletons" – in

D. Brothwell (ed.) „The Skeletal Biology of Earlier Human Populations" : 271–288; Pergamon Press, Oxford

Lerch, H. (1950)
„Über Wärmeschrumpfungen des Kollagengewebes" – Morph. Jb. 90 : 206–220

Lisowski, F. P. (1968)
„The investigation of human cremations" – in „Anthropologie und Humangenetik. Festschrift für Karl Saller" : 76–83; G. Fischer, Stuttgart

Lorke, D.; H. Münzner; E. Walter (1953)
„Zur Rekonstruktion der Körpergröße eines Menschen aus den langen Gliedmaßenknochen" – Dtsch. Z. ger. Mediz. 42 : 189–202

Lukens, H. R. und V. P. Guinn (1971)
„Comparison of bullet lead specimens by nondestructive Neutron Activation Analysis" – J. Forensic Sc. 16 : 301–308

Malinowski, A. (1969)
„Synthèse des recherches polonaises effectuées jusqu'à présent sur les os des tombes à incinération" – Przeglad Antropologiczny 35 : 127–147

Malinowski, A. und R. Porawski (1969)
„Identifikationsmöglichkeiten menschlicher Brandknochen mit besonderer Berücksichtigung ihres Gewichtes" – Zacchia 5 Serie 3 (3) : 1–19

Manzke, E. und F. Heuck (1970)
„Möglichkeiten und Ergebnisse der Morphometrie des Knochens" – Röntgen Blätter 23 : 586–592

Martin, R. (1914)
„Lehrbuch der Anthropologie" – Fischer, Jena

Martin, R. (1928)
„Lehrbuch der Anthropologie" – 2. Aufl., Bd. 2; Fischer, Jena

Maschka, J. (1852)
„Einiges über Verbrennungen in gerichtsärztlicher Beziehung" – Vjschr. Praktische Heilkunde 35 : 109–116

Mayer, F. (1898)
„Über den Einfluß hoher Hitze auf die Stellung von Leichen und über Wärmestarre" – Braumüller; Wien, Leipzig

Mayo, K. M. (1961)
„Quantitative measurement of bone mineral content in normal adult bone" – Brit. J. Radiol. 34 : 693–698

Mayr, E. (1963)
„The taxonomic evalution of fossil hominids" – in S. L. Washburn (ed.) „Classification and Human Evolution" : 332–346; Aldine, Chicago

McElhaney, J. H. (1971)
„Load and electric relationship of cortical bone" – in R. Moyers und W. Krogman (ed.) „Cranio-Facial Growth in Man" : 35–43; Pergamon Press, Oxford, New York

McHenry, H. (1968)
„Transversian lines in long bones of prehistoric California Indians" – Am. J. Phys. Anthrop. 29 : 1–18

McKern, Th. (1958)
„The use of short wave ultra-violet rays for the segregation of commingled skeletal remains" – U.S. Headquarters Quartermaster Research and Engeneering Command, Technical Report EP-98; Natick

McKern, Th. und T. D. Stewart (1957)
„Skeletal age changes in young american males" – U.S. Headquarters Quartermaster Research and Development Command, Technical Report EP-45; Natick

McLean, F. C. und A. M. Budy (1964)
„Radiation, Isotopes, and Bone" – Am. Institute of biol. Sc. and U.S. AEC Monograph, Academic Press, New York und London

McWilliams, K. R. (1969)
„The use of discontinous traits of the skull in analysing fragmentary skeletal populations" – Am. Ass. Phys. Anthropologists, 38th ann. Meet, April 1969, Mexico City

McWilliams, K. R. (im Druck)
„Non-metrical oral traits in Gran Quivira skeletons"

Meema, H. E.; C. Harris; R. Porrett (1964)
„A method for determination of bonesalt content of cortical bone" – Radiology 82 : 986–997

Merbs, Ch. (1967)
„Cremated human remains from Point of Pines, Arizona: a new approach" – American Antiquity 32 : 498–506

Merkel, H. (1932)
„Diagnostische Feststellungsmöglichkeiten bei verbrannten und verkohlten Leichen" – Dtsch. Z. ger. Mediz. 18 : 232–249

Merz, W. A. (1967)
„Die Streckenmessung an gerichteten Strukturen im Mikroskop und ihre Anwendung zur Bestimmung von Oberflächen-Volumen-Relationen im Knochengewebe" – Mikroskopie 22 : 132–142

Molleson, Th. I. und K. P. Oakley (1966)
„Relative antiquity of the Ubeidiya Hominid" – Nature 209 : 1268

Moodie, R. L. (1923)
„Paleopathology. An Introduction to the Study of Ancient Evidence of Disease" – Univ. of Illinois Press, Urbana

Moodie, R. L. (1926)
„Studies in paleopathology XIII. The elements of the Haversian system in normal and pathological structures among fossil vertebrates" – Biologia generalis 2 (2/3) : 63–95

Müller, Chr. (1958)
„Schätzung der Körperhöhe bei Funden von Leichenbränden" – Ausgrabungen und Funde 3 : 52–58

Müller, Chr. (1958/59)
„Korrelationsstatistische Untersuchungen am Radius" – Wiss. Z. Humbolt Univ. Berlin, Math.-Nat. R. 8 : 229–238

Müller, Chr. (1964)
„Methodisch-kritische Betrachtungen zur anthropologischen Untersuchung von Leichenbränden" – Prähistorische Z. 42 : 1–29

Müller, Chr. (1966)
„Ergebnisse der anthropologischen Untersuchung der Leichenbrände von Gräfenhainichen, Kr. Gäfenhainichen" – Mitt. Sekt. Anthropologie Biol. Ges. DDR 18 : 45–52

Müller, G. (1935)
„Zur Bestimmung der Länge beschädigter Extremitätenknochen" – Anthrop. Anz. 12 : 70–72

Müller, G. und F. Nürnberger (1972)
„Anatomische Grundlagen der sog. ‚Cellulitis'" – Arch. Dermatolog. Forsch. 244 : 171–172

Müller, W. (1965/66)
„Der Schädel des Homo Mousteriensis Hauseri wieder in Berlin" – Prähistorische Z. 43/44 : 1

Münzenberg, K. J. (1970)
„Untersuchungen zur Kristallographie der Knochenminerale" – Biomineralisation, Forsch.-Ber. 1 : 67–100; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Narr, K. J. (1968)
„Menschenfunde an der Grenze von Mittel- und Jungpaläolithikum in Europa (einige chronologische Aspekte)" – in G. Kurth (ed.) „Evolution und Hominisation" : 291–299; Fischer, Stuttgart

Nemeskeri, J.; L. Harsanyi; G. Acsadi (1960)
„Methoden zur Diagnose des Lebensalters von Skelettfunden" – Anthrop. Anz. 24 : 70–95

Nemeskeri, J. und L. Harsanyi (1962)
„Das Lebensalter des Skelettes aus dem Neandertal (1856)" – Anthrop. Anz. 25 : 292–297

Neuman, W. F. und M. W. Neuman (1958)
„The Chemical Dynamics of Bone Mineral" – Univ. Press, Chicago

Newesely, H. (1967)
„Thermische Umwandlungsreaktionen der Calciumphosphate und des Octacalciumphosphates" – Monatsh. f. Chemie 98 : 379–389

Oakley, K. P. (1965)
„Radiocarbon dating of fossil hominids" – CONF-650652 Proceedings 6th Int. Conf. Radiocarbon and Tritium Dating, Washington State Univ., Pullmann, Washington, June 7–11, : 277–286

Oakley, K. P. (1966)
„Frameworks for Dating Fossil Man" – 2nd. Ed.; Aldine Publ., Chicago

Oakley, K. P.; B. G. Campbell; Th. I. Molleson (1971)
„Catalogue of Fossil Hominids" – Part II : Europe; Trustees of the British Museum (Nat. Hist.), London

Oakley, K. P. und E. Gardiner (1968)
„Données analytiques sur les ossements de Swanscombe" – Revue Anthropologique : 101–108

Ollivier, H.; F. Robert, J. Quicke (1958)
„Les modifications du diamètre des canaux de Havers au cours de la calcination" – Ann. Méd. Lég. Criminol. 38 : 381–383

Pauwels, F. (1965)
„Über die mechanische Bedeutung der gröberen Kortikalisstruktur beim nomalen und pathologisch verbogenen Knochen" – in F. Pauwels „Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates" : 236–249; Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Perinet, G. (1964)
„Détermination par diffraction X de la température de cuisson d'un ossement calciné. Application au matériel préhistorique" – Comptes Rend. heb. Séances de l'Académie des Sciences 258 : 4115–4116

Phenice, T. W. (1969)
„A newly developed visual method of sexing the os pubis" – Am. J. Phys. Anthrop. 30 : 297–302

Pons, J. (1955)
„The sexual diagnosis of isolated bones of the skeleton" – Human Biology 27 : 12–21

Posner, A. S. (1969)
"Crystal chemistry of bone mineral" – Physiological Reviews 49 : 760–792

Posner, A. S. (1972)
persönliche Mitteilung vom 2. 11. 1972

Posner, A. S.; E. Eanes; R. Harper; I. Zipkin (1963)
„X-ray diffraction analysis of the effect on fluoride on human bone apatite" – Arch. Oral Biology 8 : 549–570

Posner, A. S. und A. Perloff (1957)
„Apatites deficient in divalent cations" – J. Res. Natl. Bur. Stud. A-58 : 279–286

Pribilla, O. (1971)
„Radioaktive Isotope in forensischen Disziplinen" – Beiträge zur ger. Mediz. 28 : 304–315

Race, G. J.; E. Fry; J. Matthews; M. Wagner; J. Hartin; J. Lynn (1968)
„Ancient Nubian human bone: a chemical und ultrastructural characterization including collagen" – Am. J. Phys. Anthrop. 28 : 157–162

Robinson, R. A. und S. R. Elliot (1957)
„The water content of bone. I. The mass of water, inorganic crystals, organic matrix and ‚CO_2-space' components in a unit volume of dog bone" – J. Bone Joint Surg. 39-A : 167–187

Robinson, R. A. und L. Watson (1955)
„Crystall-collagen relationship in bone as ob-

served in the electron microscope III. Crystal and collagen morphology as a function of age" – Ann. New York Acad. Sc. 60 : 596–628

Rosate, A. (1963)
„Variazioni della microdurezza nell'osso primario di bovini di varia eta" – Archivio Putti 18 : 391–417

Roth-Lutra, K. H. (1965)
„Röntgenanthropologie: Der Röntgenbefund als Hilfe der kombinierten Altersbestimmung" – Anthrop. Anz. 27 : 278–288

Schaefer, U. (1958)
„Grenzen und Möglichkeiten der anthropologischen Untersuchung von Leichenbränden" – V. Int. Kongr. Vor- und Frühgeschichte Hamburg : 717–724; Gebr. Mann, Berlin 1961

Schaefer, U. (1960)
„Anthropologische Untersuchung der Leichenbrände aus dem westlichen Tumulus der Frehat en-Nufegi bei Uruk Warka" – Abhdlg. Dtsch. Orientgesellschaft 5 : 31–36

Scheidegger, S. (1963)
„Palaeopathologische Befunde an Knochen" – Vhdlg. Dtsch. Ges. Pathologie 47 : 198–202

Schlesinger, H. L.; H. Lukens; D. Settle (1968)
„The examination of actual case evidence samples by neutron activation analysis" – Paper presented at the 1968 Int. Conf. on Modern Trends in Activation Analysis (Nat. Bureau of Standards, Oct. 7–11., 1968)

Schlesinger, H. L. und D. M. Settle (1971)
„A large scale study of paper by neutron activation analysis" – J. Forensic Sc. 16 : 309–330

Schott, L. (1962)
„Die Körperhöhe in drei slawischen Fundkomplexen" – Veroff. Museum Vor- und Frühgeschichte Potsdam 1 : 60–65

Schott, L. (1967)
„Beziehungen zwischen Abschnittsmaßen menschlicher Extremitätenlangknochen und deren Gesamtlänge" – Z. Morph. Anthrop. 59 : 77–84

Schrader, G. (1938)
„Untersuchungen zur Altersbestimmung an Knochen verbrannter Neugeborener und Frühgeburten" – Dtsch. Z. ger. Mediz. 29 : 152–158

Schranz, D. (1959)
„Kritik der Auswertung der Altersbestimmungsmerkmale von Zähnen und Knochen" – Dtsch. Z. ger. Mediz. 48 : 562–575

Schuchhardt, C. (1910)
„Die Hauserschen Diluvialskelete im königlichen Museum für Völkerkunde" – Die Woche 1910 (14) : 592–594; Berlin

Schuchhardt, C. (1912)
„Die neue Zusammensetzung des Schädels von Homo Mousteriensis Hauseri" – Amtl. Ber. aus den königl. Kunstsammlungen, Beilage zum Jb. Königl. preuß. Kunstsammlungen 34 : 4–10

Sein, A. (1939)
„Pruebas legales póstumas después de la cramación" – La Semana Médica 46 I : 1075–1084

Sergi, S.; A. Scenzi; E. Bonucci (1972)
„Torus palatinus in the Neanderthal Circeo I skull. A histologic, microradiographic and electron microscopic investigation" – Am. J. Phys. Anthrop. 36 : 189–198

Settle, D. M. (1967)
„Neutron activation and photonuclear activation analysis of glass samples – in V. P. Guinn (ed.) „Proceed. First Int. Conf. Forensic Activation Analysis" : 147–160; Gulf General Atomic, San Diego

Shackleford, J. M. (1966)
„The ultrastructure of Mississippian and Archaic Indian bones from various soil and drainage conditions" – Am. J. Phys. Anthrop. 25 : 291–298

Shaw, A. B. (1969)
„Presidental address. Adam and Eve, Paleontology, and the non-objective Arts" – J. Paleontology 43 : 1085–1098

Singh, I. J. und D. L. Gunberg (1970)
„Estimation of age at death in human males from quantitative histology of bone fragments" – Am. J. Phys. Anthrop. 33 : 373–382

Spadaro, J. A.; R. Becker; Ch. Bachman (1970)
„The distribution of trace metals ions in bone and tendon" – Calc. Tissue Res. 6 : 49–54

Spence, T. F. (1967)
„The anatomical study of cremated fragments from archeological sites" – Proc. Prehist. Soc. 33 : 70–83

Spencer, R. P. und M. J. Coulombe (1966)
„Quantitation of the radiographically determined age dependency of bone thickness" – Invest. Radiol. 1 : 144–147

Steele, D. G. (1970)
„Estimation of stature from fragments of long limb bones" – in T. D. Stewart (ed.) „Personal Identification in Mass Disasters" : 85–97; Smithsonian Institution, Washington

Steele, D. G. und T. W. McKern (1969)
„A method for assessment of maximum long bone length and living stature from fragmentary long bones" – Am. J. Phys. Anthrop. 31 : 215–227

Strzalko, J. (1966)
„O odtwarzaniu dlugosci kosci promieniowej i udowej na podstawie pomiarow ich glow" – Przeglad Antropologiczny 32 : 261–268

Strzałko, J.; J. Piontek; A. Malinowski (1972)
„Problem rekonstrukcji wzrostu na podstawie kości zachowanych we fragmentach lub spalonych" – Przeglad Antropologiczny 38 : 277–287

Tappen, N. C. (1969)
„The relationship of weathering cracks to

split-line orientation in bone" – Am. J. Phys. Anthrop. 31 : 191–198
Termine, J. D. und A. S. Posner (1966)
„Infrared analysis of rat bone: Age dependency of amorphous and crystalline fractions" – Science 153 : 1523–1525
Thieme, F. P. und W. Schull (1957)
„Sex determination from the skeleton" – Human Biology 29 : 242–273
Thieme, U. (1970)
„Über Leichenbranduntersuchungen" – Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 5 : 253–286
Thorne, A. G. (1972)
Persönliche Mitteilung vom 8. 5. 1972
Tipton, I. H. und J. J. Shafer (1964)
„Trace elements in human tissue: rib and vertebra" – Oak Ridge National Laboratory – 3697 : 179–185
Todd, T. W. (1920)
„Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis" – Am. J. Phys. Anthrop. 3 : 285–334
Trotter, M. (1970)
„Estimation of stature from intact long limb bones" – in T. D. Stewart (ed.) „Personal Identification in Mass Disasters" : 71–83; Smithsonian Institution, Washington
Trotter, M. und R. Peterson (1962)
„The relationship of ash weight and organic weight of human skeletons" – J. Bone Joint Surg. 44-A : 669–681
Trotter, M. und R. Peterson (1970)
„Weight of the skeleton during postnatal development" – Am. J. Phys. Anthrop. 33 : 313–324
Unverzagt, W. und J. Herrmann (1958)
„Das slawische Brandgräberfeld von Prützke, Kr. Eberswalde" – Ausgrabungen und Funde 3 : 106–110
Vallois, H. H. und H. L. Movius (1953)
„Catalogue des hommes fossiles" – Congr. Géologique Int., Comptes Rend. de la dix-neuvième session, Alger 1952; Section V, Fasc. V : 61–376; Alger
Van Vark, G. N. (1970)
„Some statistical procedures for the investigation of prehistoric human skeletal material" – Diss. Groningen, 2nd. print.
Verzar, F. und I. Zs.-Nagy (1970)
„Electronmicroscopic analysis of thermal collagen denaturation in rat tail tendons" – Gerontologia 16 : 77–82
Vinz, H. (1970a)
„Untersuchungen über die Dichte, den Wasser- und den Mineralgehalt des kompakten Knochengewebes in Abhängigkeit vom Alter" – Morph. Jb. 115 : 273–283
Vinz, H. (1970b)
„Die Änderung der Materialeigenschaften und der stofflichen Zusammensetzung des kompakten Knochengewebes im Laufe der Altersentwicklung" – Nova Acta Leopoldina N. F. 35 (192)
Vinz, H. (1970c)
„Die Änderung der Festigkeitseigenschaften des kompakten Knochengewebes im Laufe der Altersentwicklung" – Morph. Jb. 115 : 257–272
Virtama, P. und T. Helelä (1969)
„Radiographic measurement of cortical bone. Variations in a normal population between 1 and 90 years of age" – Acta Radiologica, Suppl. 293
Vittali, H. P. (1970)
„Knochenerkrankungen" – Sandoz Monographien, Fa. Sandoz
Vlček, E. (1963)
„Zu Fragen der Rassentypbestimmung in den Leichenbränden" – Anthropos N. S. 7 : 275–276
Vogel, Chr. (1970)
„Gegenwärtige Probleme der Morphologie in der Stammesgeschichte von Primaten und Mensch" – Z. Morph. Anthrop. 62 : 185–206
Vogel, Chr. (1971)
„Bedeutung morphologischer, serologischer und biochemischer Merkmale für die Evolution und Bevölkerungsbiologie. A. Makroevolution" – Z. Morph. Anthrop. 63 : 141–167
Wada, T. (1909)
„Über die Unterscheidung der Menschen- und Tierknochen" – Vjschr. ger. Med. öff. San.-Wes. 37, 3. F, : 265–278
Waldeyer, W. und Bonnet (1910)
„Die beiden Hauserschen Skelete aus Südfrankreich" – 6seitige Beilage zu einem Spendenaufruf, in Acta 1
Washburn, S. L. (1948)
„Sex differences in the pubic bone" – Am. J. Phys. Anthrop. 7 : 425–432
Webb, W. S. und C. E. Snow (1945)
„The Adena People" – The Univ. of Kentucky Reports in Anthropology and Archeology 6, Lexington (zit. nach Baby und Binford)
Weidmann, S. M. und H. J. Rogers (1958)
„Studies on the skeletal tissues II. The influence of age upon the degree of calcification and the incorportation of P^{32} in bone" – Biochem. J. 69 : 338–343
Wells, C. (1960)
„A study of cremation" – Antiquity 34 : 29–37
Wells, C. (1967)
„A new approach to palaeopathology: Harris's Lines" – in D. Brothwell und A. T. Sandison (ed.) „Diseases in Antiquity" : 390–404; Thomas, Springfield
Widdowson, E. M. und J. W. Dickerson (1964)
„Connective Tissue" – in Comar-Bronner (ed.)

„Mineral Metabolism" Vol. 2a : 89–109, Academic Press, New York, London

Wilhelmi, K. (1971)
„Ein vorgeschichtliches Körper- und Brandgräberfeld in Lengerich-Wechte, Kreis Tecklenburg" – Westfälische Forschungen 23 : 180–182

Wilkens, H. (1966)
„Zusammenstellung polarisationsoptischer und elektronenmikroskopischer Befunde über den Bau von lamellärem Knochengewebe" – Dtsch. Tierärzt. Wochenschr. 73 (21) : 528–530

Wrozek, A. (1928)
„La methode anthropologique d'exploration des tombeaux a urnes cineraires" – Przeglad Antropologiczny 3 : 119–126

Yamamoto, K. (1970)
„Zur polarisationsoptischen Untersuchung der Knochenlamellensysteme des Menschen" – Archivum histologicum japonicum 32 : 115–132; 133–143

Yeager, J. A. (1971)
„Bone morphology and mineral homeostasis" – in R. Moyers und W. Krogman (ed.) „Cranio-Facial Growth in Man" : 27–33; Pergamon Press, Oxford, New York